



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10143821 A**(43) Date of publication of application: **29.05.98**

(51) Int. Cl.

**G11B 5/39**(21) Application number: **09058143**(22) Date of filing: **12.03.97**(30) Priority: **12.03.96 JP 08 55226**  
**13.09.96 JP 08243066**(71) Applicant: **TOSHIBA CORP**(72) Inventor: **SAITO KAZUHIRO**  
**SAITO AKIKO**  
**TSUDAI AKIHIKO**  
**YODA HIROAKI**  
**IWASAKI HITOSHI**  
**SAHASHI MASASHI**  
**KOBAYASHI TADAHIKO**  
**OSAWA YUICHI**  
**KAMIGUCHI YUZO**(54) **MAGNETO-RESISTANCE EFFECT TYPE HEAD**

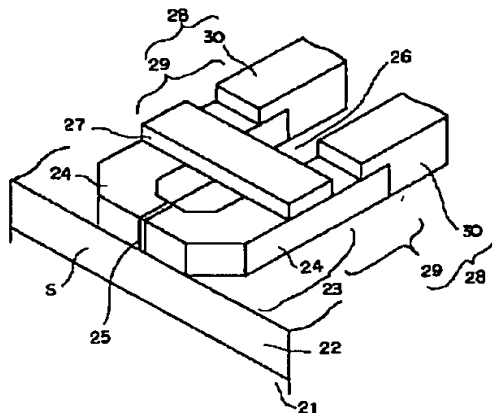
## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress degradation of characteristic of MR (magneto-resistance effect) film or lowering of the yield incident to lead formation in a yoke type MR head, and also to control Barkhausen noise due to magnetic yoke.

**SOLUTION:** An MR film 27 is arranged in a position receded by a prescribed distance from a face S oppositely facing a medium, along a plane nearly parallel to the substrate face of a magnetic yoke 23 that consists of a pair of magnetic body layers 24 disposed to face oppositely through a magnetic gap 25. The MR film 27 is magnetically connected to the magnetic yoke 23 at least at both ends. A pair of leads 28 for supplying a sense current to the MR film 27 is provided with a magnetic lead part 29 constituted of magnetic body layers 24 that are common to the magnetic yoke 23 and with a low resistance lead part 30. In addition, the magnetic yoke and the MR film are impressed by a bias magnetic field at least at the time of a head operation. The bias magnetic field is due to a current magnetic field for example. Otherwise, the magnetic yoke is heat-treated while impressing the current magnetic

field, with a different magnetic anisotropy imparted to depending on a part.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-143821

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月29日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願平9-58143

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月12日

(31) 優先権主張番号 特願平8-55226

(32) 優先日 平8(1996) 3月12日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平8-243066

(32) 優先日 平8(1996) 9月13日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 斉藤 和浩

神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東

芝川崎事業所内

(72) 発明者 斉藤 明子

神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東

芝川崎事業所内

(72) 発明者 津田井 昭彦

神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東

芝川崎事業所内

(74) 代理人 弁理士 須山 佐一

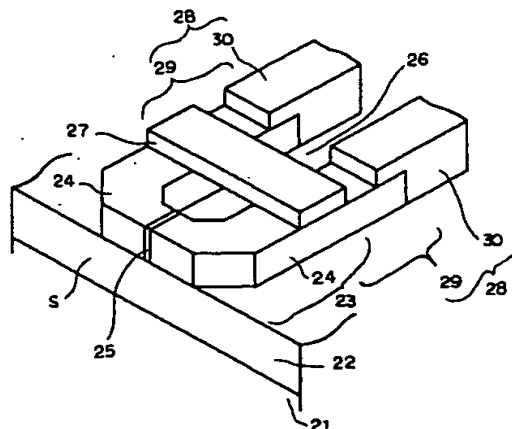
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 ヨーク型MRヘッドにおいて、リード形成に伴うMR膜の特性低下や歩留り低下を抑制する。また、磁気ヨークに起因するバルクハウゼンノイズを抑制する。

【解決手段】 磁気ギャップ25を介して対向配置された一对の磁性体層24からなる磁気ヨーク23の基板面と略平行な平面に沿って、媒体対向面Sから所定距離後退した位置にMR膜27を配置する。MR膜27は少なくとも両端部が磁気ヨーク23と磁気的に結合されている。MR膜27にセンス電流を供給する一对のリード28は、磁気ヨーク23と共通の磁性体層24により構成された磁性体リード部29と低抵抗リード部30とを有している。さらに、磁気ヨークおよびMR膜には、少なくともヘッド動作時にバイアス磁界が印加される。バイアス磁界は例えば電流磁界による。あるいは、磁気ヨークは電流磁界を印加しながら熱処理されており、部位により異なる磁気異方性が付与されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、前記基板上に配置された磁気ヨークと、前記磁気ヨークの媒体対向面側に介在された磁気ギャップと、少なくとも両端部が前記磁気ヨークと磁気的に結合され、媒体対向面から所定距離後退した位置に形成された磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードとを具備する磁気抵抗効果ヘッドであって、

前記一対のリードは、前記磁気ヨークと共通の磁性体層により構成された磁性体リード部を有することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項2】 請求項1記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気ヨークは前記基板表面に対して略平行な平面を有し、かつ前記磁気抵抗効果膜は前記磁気ヨークの平面に沿って形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項3】 基板と、前記基板の主表面に沿って配置され、かつ前記基板の主表面に略平行な平面を有する磁気ヨークと、前記磁気ヨークの媒体対向面側に介在された磁気ギャップと、少なくとも両端部が前記磁気ヨークと磁気的に結合され、媒体対向面から所定距離後退した位置に前記磁気ヨークの平面に沿って形成された磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードとを具備する磁気抵抗効果ヘッドであって、  
前記磁気ヨークおよび磁気抵抗効果膜には、少なくともヘッド動作時にバイアス磁界が印加されることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項4】 請求項3記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気ヨークにはヘッド動作時に電流が供給され、前記電流により生じる磁界により前記バイアス磁界が印加されることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項5】 請求項3記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気ヨークは、前記センス電流の一部が分流するように、前記一対のリードと電気的に接続されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項6】 請求項4記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気ヨークは、強磁性層と低抵抗非磁性層との積層膜により構成されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項7】 請求項5記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気ヨークは、前記磁気抵抗効果膜を介して前記一対のリードと電気的に接続されており、前記磁気ヨークと前記磁気抵抗効果膜との間には、前記磁気抵抗効果膜の電流より前記磁気ヨークの電流が小さくなるように、

高抵抗磁性層が介在されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項8】 請求項5記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記一対のリードは、前記磁気ヨークと共通の磁性体層により構成された磁性体リード部を有していることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項9】 請求項4記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

10 前記磁気ヨークは前記バイアス磁界により磁区制御され、その磁化方向は前記磁気ヨークの磁気路に対して略直交する方向とされていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項10】 請求項4記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気ヨークには、その形状に応じて、部位により異なる方向の磁気異方性が付与されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

20 【請求項11】 請求項4記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気抵抗効果膜は、磁性層と非磁性層との積層膜を有する巨大磁気抵抗効果膜からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

30 【請求項12】 基板と、前記基板の主表面に沿って配置され、かつ前記基板の主表面に略平行な平面を有する磁気ヨークと、前記磁気ヨークの媒体対向面側に介在された磁気ギャップと、少なくとも両端部が前記磁気ヨークと磁気的に結合され、媒体対向面から所定距離後退した位置に、前記磁気ヨークの平面に沿って形成された磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードとを具備する磁気抵抗効果ヘッドであって、

前記磁気ヨークはその形状に応じて、部位により異なる方向の磁気異方性が付与されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項13】 請求項12記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気異方性は、前記磁気ヨークによる磁気路と前記磁気ヨーク全体の磁化容易軸とが略直交するように付与されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項14】 請求項12記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気ヨークは、電流磁界により付与された前記磁気異方性を有することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項15】 請求項12記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記磁気ヨークは、強磁性層と非磁性層との積層膜により構成され、前記積層膜は少なくとも1つの非磁性金属層を有することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

50 【請求項16】 請求項12記載の磁気抵抗効果ヘッド

において、

前記磁気ヨークは、強磁性層と、前記強磁性層に隣接して配置された反強磁性層とを有することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項17】 請求項12記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

さらに、前記磁気ヨークに絶縁層を介して配置された、電流磁界を発生させる非磁性金属層を具備することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項18】 請求項12記載の磁気抵抗効果ヘッド 10 において、

前記磁気抵抗効果膜は、磁性層と非磁性層との積層膜を有する巨大磁気抵抗効果膜からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項19】 磁気ヨークを有する磁気抵抗効果ヘッドの製造方法において、

基板上に前記磁気ヨークを形成する工程と、

前記磁気ヨークまたは前記磁気ヨーク近傍に設けられた電気回路に電流を流すことにより、前記磁気ヨークに電流磁界を印加しながら熱処理し、前記磁気ヨークの形状 20 に応じて、部位により異なる方向の磁気異方性を付与する工程と、

前記磁気ヨーク上に、磁気抵抗効果膜および前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードを形成する工程とを有することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッドの製造方法。

【請求項20】 請求項19記載の磁気抵抗効果ヘッドの製造方法において、前記熱処理時に前記基板上に複数形成された前記磁気ヨークに対して、前記電流を直列に流すことを特徴とする磁気抵抗効果ヘッドの製造方法。 30

【請求項21】 磁気ヨークを有する磁気抵抗効果ヘッドの製造方法において、

基板上に、媒体対向面側に非磁性材料からなる磁気ギャップが介在され、前記磁気ギャップを介して相対する部分が電氣的に接続された前記磁気ヨークを形成する工程と、

前記磁気ヨークまたは前記磁気ヨーク近傍に設けられた電気回路に電流を流すことにより、前記磁気ヨークに電流磁界を印加しながら熱処理し、前記磁気ヨークの形状 40 に応じて、部位により異なる方向の磁気異方性を付与する工程と、

前記磁気ヨーク上に、磁気抵抗効果膜および前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードを形成する工程とを有することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッドの製造方法。

【請求項22】 請求項21記載の磁気抵抗効果ヘッドの製造方法において、前記熱処理時に前記基板上に複数形成された前記磁気ヨークに対して前記電流を直列に流すことを特徴とする磁気抵抗効果ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気記録再生装置の再生ヘッド等として使用される磁気抵抗効果ヘッドおよびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、磁気記録の高密度化が進み、例えばHDDでは800Mb/inch<sup>2</sup> というような高密度システムが実用化されている。HDDの記録密度はさらに高密度化することが要求されている。このような高記録密度システムにおける再生ヘッドとしては、ある種の磁性薄膜や磁性多層薄膜等の電気抵抗が外部磁界によって変化するという、いわゆる磁気抵抗効果（以下、MRと記す）を利用した磁気抵抗効果ヘッド（MRヘッド）が注目されている。

【0003】図44は従来の一般的なシールド型MRヘッドの一構成例を示す図である。同図において、1はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・TiC等からなる基板である。基板1上にはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等からなる絶縁下地層2を介して、パーマロイ等の軟磁性膜からなる下側のシールド層3が形成されている。下側シールド層3上には、再生磁気ギャップを構成する非磁性膜4を介してMR膜5が形成されている。MR膜5の両端に一対のリード6が接続されて、MR素子7が構成されている。MR素子7上には、再生磁気ギャップを構成する非磁性膜8を介して、上側のシールド層9が配置されている。このようなシールド型MRヘッドによる信号磁界の検出は、一対のリード6にセンス電流を流し、MR膜5の平均磁化方向の変化に伴う抵抗の変化を測定することにより行われる。

【0004】ところで、上述したようなシールド型MRヘッドは、一対のリード6によりトラック幅を規定している。このため、さらなる高密度記録への対応を図るためには、リード間距離を短縮しなければならない。これにより、磁界感受領域はリード間距離の短縮に応じてさらに狭くなることになる。このように、シールド型MRヘッドでは高密度記録化に限界がある。また、リード6を形成する際には、リード6となる導電膜を成膜した後、この導電膜をリード形状にパターニングする必要がある。この際に、MR膜5の一部までエッチングされてしまうおそれがある。これによって、MR膜5の特性が低下したり、あるいは製造歩留りが低下するというような問題があった。

【0005】また、奥行き（デプス）加工の際に、MR膜5が研磨液等に直接接するため、工程中にMR膜5が腐食するという重大な問題を有していた。そのために、MRヘッドの媒体対向面等に絶縁性の保護膜を形成する等の対策が採られてきた。しかし、この方法は線記録密度の向上に不可欠なヘッドの低浮上化には不向きである。さらに、将来の高密度化技術として期待されている接触記録方式では、特に媒体対向面が磨耗して保護膜が消滅するおそれがある。保護膜の磨耗が進行してMR膜

5まで磨耗が進むと、デプス方向の幅が変動してヘッド出力が変動してしまう。また、ヘッド出力の変動だけでなく、MR膜5自体が磨耗して消滅してしまうおそれもある。このようなことから、MR膜5の摩耗防止対策が求められている。

【0006】上述したようなシールド型MRヘッドの問題点を回避するヘッド構造として、図45に示すようなヘッド内部に配置されたMR素子7に磁気ヨーク10により信号磁界を導く、いわゆるヨーク型のMRヘッドが知られている。このヨーク型MRヘッドにおいては、磁気ヨーク10の一部となる軟磁性体層11上に磁気ギャップとなる非磁性膜12を介してMR素子7が配置されている。また、媒体対向面からMR膜5を介して、ヘッド内部の軟磁性体層11に接続するように、磁気ヨークの一部となる軟磁性体13、14が配置されている。

【0007】このような従来のヨーク型MRヘッドにおいても、リード6の形成工程はシールド型MRヘッドと同じである。従って、MR膜5に達するエッチングにより、特性や歩留り等が低下しやすい。さらに、MR素子7の形成位置や磁気ヨーク10への接続状態、また磁気ヨーク10の一部となる軟磁性体13、14とMR膜5とのアライメント誤差等によって、再生出力が変動しやすい。このため、特性の揃ったMRヘッドを歩留りよく製造することが困難であった。

【0008】一方、図46に示すように、基板1上に積層方向に磁気コア15を設け、その内部にMR素子7を配置した構造も提案されている。しかし、磁気コア15の膜厚方向の透磁率はほとんど零であり、さらに磁気コア15の膜厚分だけMR素子7が媒体対向面から後退するため、やはり再生出力が低いという問題を有していた。さらに、上述した従来のヨーク型MRヘッドは、いずれも磁気ヨークやリードの作製工程が複雑になるため、低コスト化しづらい。

【0009】加えて、従来のヨーク型MRヘッドは、磁気ヨークにおけるバルクハウゼンジャンプに起因するノイズが生じやすいという問題を有していた。すなわち、信号磁界により形成される磁気路方向と磁気ヨークの磁化容易軸とが平行であるような場合には、信号磁界の反転の際に磁気ヨークの急激な磁化反転（磁化の不連続なとび）が生じる。この急激な磁化反転は、バルクハウゼンノイズ等の信号ノイズの発生原因となる。

【0010】このような信号ノイズの低減策の一つとして、磁気ヨークの磁化容易軸を磁気路方向と直交させることが挙げられる。この際、例えば図46に示した磁気ヨーク15のように、曲折部を有している磁気ヨークでは、その各部位において磁気路方向と直交させた磁気異方性を付与することが望まれる。

【0011】一方、磁気異方性を付与する方法としては、磁界中成膜や磁界中アニール（熱処理）が知られている。このような磁界中成膜や磁界中アニールにおける

磁界印加手段としては、通常外部コイルが用いられている。しかしながら、外部コイルでは一方向の磁界しか加えることができない。このため、曲折部を有している磁気ヨークの全体に対して、磁気路方向と直交させた磁化容易軸を付与することは実現されていない。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来のシールド型MRヘッドでは、高密度記録に対応するべくリード間距離を短縮すると磁界感受領域が狭くなる。従って、高密度記録への対応には限界がある。さらに、リードの形成工程でMR膜までエッチングされてしまうという問題、MR膜の腐食が生じやすいという問題、MR膜が磨耗することによりヘッド出力が変動するだけでなく、MR膜自体が消滅するおそれがあるというような問題を有していた。

【0013】一方、ヨーク型MRヘッドは、高記録密度対応のヘッド構造として期待されている。これは、低浮上化方式や接触方式の記録再生を適用する場合においても、MR素子の磨耗に伴う問題を回避できるためである。しかし、従来のヨーク型MRヘッドは、シールド型MRヘッドと同様にリードの形成時にMR膜までエッチングされ、特性や歩留りが低下しやすいという問題を有していた。加えて、磁気ヨークやリード等の作製工程が複雑で、低コスト化しづらいという問題を有していた。

【0014】さらに、従来のヨーク型MRヘッドは、磁気ヨークでの磁区生成や磁化反転に伴って、バルクハウゼンノイズが生じやすいという問題を有していた。このバルクハウゼンノイズは、例えば磁気ヨークの磁気異方性制御により低減することが可能である。しかしながら、従来の磁気異方性の付与方法では、曲折部を有する磁気ヨーク全体の磁化容易軸を、磁気路方向と直交する方向に制御することは極めて困難であった。また、従来のヨーク型MRヘッドは、再生出力が小さいという問題や出力にばらつきが生じやすいというような問題も有していた。

【0015】本発明は、このような課題に対処するためになされたもので、ヨーク型MRヘッドにおいて、リード形成に伴うMR膜の特性低下や歩留り低下を解消すると共に、磁気ヨークやリード等の作製工程を簡素化して低コスト化することを可能にした磁気抵抗効果ヘッドを提供することを目的としている。本発明の他の目的は磁気ヨークに起因するバルクハウゼンノイズを抑制した磁気抵抗効果ヘッド、さらには再生出力の向上および再生出力の変動抑制を実現した磁気抵抗効果ヘッドを提供することにある。さらに、そのような磁気抵抗効果ヘッドを再現性よくかつ効率的に作製することを可能にした磁気抵抗効果ヘッドの製造方法を提供することを目的としている。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明における第1の磁

気抵抗効果ヘッドは、請求項1に記載したように、基板と、前記基板上に配置された磁気ヨークと、前記磁気ヨークの媒体対向面側に介在された磁気ギャップと、少なくとも両端部が前記磁気ヨークと磁気的に結合され、媒体対向面から所定距離後退した位置に形成された磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードとを具備する磁気抵抗効果ヘッドであって、前記一対のリードは前記磁気ヨークと共通の磁性体層により構成された磁性体リード部を有することを特徴としている。

【0017】第1の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、磁気抵抗効果膜は特に磁気ヨークの基板の主表面（以下、基板面と記す）に対して略平行な平面に沿って形成することが好ましい。

【0018】本発明の第1の磁気抵抗効果ヘッドにおいては、磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードの少なくとも一部を、磁気ヨークと共通の磁性体層により構成している。このような磁性体リード部によって、磁気抵抗効果膜に直接接してリードを形成する必要がなくなる。よって、リード形成に伴う磁気抵抗効果膜の特性低下や歩留り低下等を防止することができる。さらに、磁気抵抗効果膜部分の構造が単純化されるために、製造工数や製造コストを低減することができる。磁気抵抗効果膜の大きさがリードに制限されなくなるため、感度の向上を図ることが可能となる。

【0019】第1の磁気抵抗効果ヘッドにおいては、基板面に沿って平行に磁気ヨークと磁気抵抗効果膜を配置することによって、磁気抵抗効果膜の配置位置を正確に制御することができる。これにより、磁気抵抗効果膜を例えば最低限媒体対向面から後退させた位置に精度よく配置形成することができる。これは再生出力の低下に対して有効である。さらに、再生出力のばらつき等も小さくすることができる。

【0020】本発明の第2の磁気抵抗効果ヘッドは、請求項3に記載したように、基板と、前記基板の主表面に沿って配置され、かつ前記基板の主表面に略平行な平面を有する磁気ヨークと、前記磁気ヨークの媒体対向面側に介在された磁気ギャップと、少なくとも両端部が前記磁気ヨークと磁気的に結合され、媒体対向面から所定距離後退した位置に前記磁気ヨークの平面に沿って形成された磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードとを具備する磁気抵抗効果ヘッドであって、前記磁気ヨークおよび磁気抵抗効果膜には、少なくともヘッド動作時にバイアス磁界が印加されることを特徴としている。

【0021】第2の磁気抵抗効果ヘッドは、特に磁気ヨークにはヘッド動作時に電流が供給され、前記電流により生じる磁界により前記バイアス磁界が印加されることを特徴としている。

【0022】本発明の第3の磁気抵抗効果ヘッドは、請

求項12に記載したように、基板と、前記基板の主表面に沿って配置され、かつ前記基板の主表面に略平行な平面を有する磁気ヨークと、前記磁気ヨークの媒体対向面側に介在された磁気ギャップと、少なくとも両端部が前記磁気ヨークと磁気的に結合され、媒体対向面から所定距離後退した位置に、前記磁気ヨークの平面に沿って形成された磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードとを具備する磁気抵抗効果ヘッドであって、前記磁気ヨークはその形状に応じて、部位により異なる方向の磁気異方性が付与されていることを特徴としている。

【0023】本発明の磁気抵抗効果ヘッドの製造方法は、磁気ヨークを有する磁気抵抗効果ヘッドの製造方法において、基板上に前記磁気ヨークを形成する工程と、前記磁気ヨークまたは前記磁気ヨーク近傍に設けられた電気回路に電流を流すことにより、前記磁気ヨークに電流磁界を印加しながら熱処理し、前記磁気ヨークの形状に応じて、部位により異なる方向の磁気異方性を付与する工程と、前記磁気ヨーク上に、磁気抵抗効果膜および前記磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給する一対のリードを形成する工程とを有することを特徴としている。

【0024】本発明の第2の磁気抵抗効果ヘッドにおいては、基板面に沿って平行に磁気ヨークと磁気抵抗効果膜を配置した上で、少なくともヘッド動作時に磁気ヨークおよび磁気抵抗効果膜にバイアス磁界（磁気バイアス）が印加される。バイアス磁界は、例えばヘッド動作時に磁気ヨークに電流を流し、この電流により生じる磁界（電流磁界）により印加する。従って、再生出力の低下やばらつき等を回避した上で、磁気ヨークの磁区を安定に制御することができる。この磁区制御は、磁気ヨークの入力磁界に対する線形性の向上に寄与する。さらに、バルクハウゼンノイズ等の発生も抑制される。

【0025】本発明の第3の磁気抵抗効果ヘッドにおいては、磁気ヨークの形状に応じて、各部位により異なる方向の磁気異方性が付与されている。このような磁気異方性は、例えば本発明の製造方法に基く熱処理、すなわち磁気ヨークに電流を流して電流磁界を印加しながら熱処理を施すことにより付与することができる。磁界発生手段として電流を用いた場合、磁界は電流に垂直な方向に加わるため、曲折部を有する磁気ヨークに対しても各部位に応じて磁気異方性を付与することができる。すなわち、磁気ヨークの全体に対して磁気路に略直交する磁気異方性を付与することができる。このような磁気異方性は、信号磁界が反転する際の磁気ヨークの磁化反転を防止する。従って、バルクハウゼンノイズ等の信号ノイズの発生を抑制することが可能となる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施するための形態について説明する。

【0027】図1は、本発明の第1の磁気抵抗効果ヘッ

ドの一実施形態によるヨーク型MRヘッドの構成を示す斜視図である。同図において、21は $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$ 基板等からなる基板である。基板21上には、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等からなる絶縁層22が下地層として設けられている。絶縁下地層22上には、主として磁気ヨーク23を構成する一対の磁性体層（磁気コア）24が形成されている。

【0028】磁性体層24には、例えばNi-Fe合金、Fe-Al-Si合金、Co-Zr-NbやCo-B等のアモルファス磁性合金、Fe-X-N合金（Xは10 Ta、Zr、Ti、Cr等から選ばれる少なくとも1種の元素）等の軟磁性材料が用いられる。

【0029】Co-Ni合金、Co-Fe合金、Co-Ni-Fe合金等のCo系強磁性体は、良好な軟磁気特性を付与することで、磁性体層24として有効に使用することができる。Co系強磁性体に良好な軟磁気特性を付与する方法としては、例えばアモルファス軟磁性層、結晶質軟磁性層、あるいはこれらの積層膜等を下地層として形成し、その上にCo系強磁性体層を形成することが挙げられる。また、Co系強磁性体はさらに30at%以下20のC、B、N、O等を加えることにより、結晶粒径等を制御することができる。これにより、磁気特性の調整を行うことも可能である。

【0030】Fe、Co、Niおよびこれらの合金からなる磁性体層24の構造および配向面は、bcc(110)面、fcc(111)面であることが好ましい。なお、後述するように、強磁性材料層と非磁性材料層との積層膜、あるいは反強磁性材料層と強磁性材料層と非磁性材料層との積層膜等で磁気ヨークを形成する場合においても、同様な構造および配向面とすることが好ましい。

【0031】磁気ヨーク23は、一対の磁性体層24をこれらが略平行となる同一平面を有するように、基板21の主表面（基板面）に沿って並列形成することによって構成されている。すなわち磁気ヨーク23は基板面と略平行な平面を有している。なお、磁気ヨーク23の厚さは記録トラック幅より狭くなるように設計される。よって、磁性体層24の厚さは記録トラック幅に応じて設定されている。具体的には、磁性体層24の厚さは10～2000nm程度であることが好ましい。より好ましくは100～500nm程度である。

【0032】一対の磁性体層24からなる磁気ヨーク23の媒体対向面S側には、基板面に対して略垂直方向に配置された磁気ギャップ25が介在されている。磁気ギャップ25と磁気ヨーク23とは、これらと後述するMR膜27により形成される磁気回路が基板面に対して略平行となるように配置されている。磁気ギャップ25は、所定の長さ（ギャップ長）を有する非磁性材料からなるものである。この実施形態では $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等の非磁性絶縁材料が用いられている。

【0033】なお、磁気ギャップ25の後方側には、磁

気ギャップ25より広いバックギャップ26が設けられている。このバックギャップ26に相当する部分は、一対の磁性体層24の作製工程で使用したレジスト等で平坦化されていてもよい。

【0034】磁気ヨーク23の基板面と略平行な平面、言い換えると磁気ヨーク23中を通る磁束（磁気ヨーク23による磁気回路）と略平行な平面上には、MR膜27が配置されている。MR膜27の配置位置は、媒体対向面Sから所定距離後退した位置とされている。すなわち、MR膜27は一対の磁性体層24の積層方向上面に相当する平面上に、バックギャップ26をまたいで一対の磁性体層24の双方と磁気的に結合するように配置されている。

【0035】MR膜27は、その長手方向が磁気ヨーク23により導かれた信号磁界方向と略平行とされている。記録媒体から磁気ギャップ25を介して磁気ヨーク23に流入した信号磁界は、磁気ヨーク23を通してMR膜27に導かれる。すなわち、磁気ヨーク23とMR膜27は、磁気ギャップ25を介してリング状の磁気コアを形成している。

【0036】MR膜27の奥行き方向の配置位置は、記録媒体との接触によるショートや磨耗等を考慮した上で、媒体対向面Sに近い位置とすることが好ましい。このような配置関係によれば、MR膜27を媒体対向面Sから最低限後退させた上で、媒体対向面Sに近接した位置に精度よく配置形成することができる。すなわち、ヨーク型MRヘッドとしての利点を損わない範囲で、MR膜27を媒体対向面Sに近い位置に精度よく形成することができる。MR膜27の媒体対向面Sからの後退距離30は、信号磁界の設定導入量にもよるが、0.2～10 $\mu\text{m}$ 程度とすることが好ましい。特に0.2～3 $\mu\text{m}$ 程度とすることが望ましい。

【0037】MR膜27としては、例えば異方性磁気抵抗効果膜（AMR膜）や磁性層と非磁性層との積層膜を有する巨大磁気抵抗効果膜（GMR膜）を用いることができる。AMR膜は、電流の方向と磁性層の磁化モーメントの成す角度に依存して電気抵抗が変化するものであり、例えばNi<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>合金からなるものである。GMR膜としては、例えば強磁性層／非磁性層／強磁性層のサンドイッチ膜を有し、各強磁性層の磁化の成す角度に依存して電気抵抗が変化するいわゆるスピンバルブ膜を使用することができる。スピンバルブ膜の具体的な構成としては、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>/Cu/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>の積層膜等が挙げられる。強磁性層と非磁性層の多層積層膜を有し、巨大磁気抵抗効果を示す人工格子膜もGMR膜として有効である。

【0038】MR膜27にセンス電流を供給する一対のリード28は、磁性体リード部29と例えばCuからなる低抵抗リード部30とから構成されている。磁性体リード部29は、磁気ヨーク23を構成する一対の磁性体

層24を、それぞれ媒体対向面Sから後退する方向に向けて延長した部分(後方部分)からなる。低抵抗リード部30は、これらの磁性体リード部29にそれぞれ接続されている。

【0039】すなわち、リード28は磁気ヨーク23と共通の磁性体層24により構成された磁性体リード部29を有している。言い換えると、一对の磁性体層24は、磁気ギャップ25が介在された媒体対向面SからMR膜27の下側に位置する部分までが磁気ヨーク23を構成しており、かつMR膜27の下側に位置する部分から低抵抗リード部30との接続部分までは磁性体リード部29を構成している。MR膜27には、低抵抗リード部30から磁性体リード部29を介してセンス電流が供給される。

【0040】上述した実施形態のヨーク型MRヘッドにおいては、MR膜27にセンス電流を供給するリード28を、磁性体リード部29とCu等からなる低抵抗リード部30とで構成することによって、通常のMRヘッドで単一リードとして用いられてきたCu層部分が直接MR膜27と接しない構造を実現している。これによって、Cu等からなる低抵抗リード部30の形成が容易になると共に、リード形成に伴うMR膜27の特性低下や歩留り低下等を防止することができる。

【0041】また、MR膜27部分の構造が単純化されるため、製造コストの低減等を図ることができる。例えば、図42に示した従来構造では、MR膜5にリード6と磁気ヨーク13、14の両方が接続されているため、MR膜部分の製造プロセスが極めて複雑である。これに対して、この実施形態ではMR膜27部分は単に磁性体層24上に形成されているだけであって、MR膜27上ではパターンニング工程等は行われない。従って、製造プロセスを簡素化および容易化することができる。さらに、MR膜27の大きさをリードに制限されることなく設計できるため、感度の向上を図ることができる。

【0042】これらに加えて、磁性体層24上であればどのような位置にでもMR膜27を配置することができる。例えば、最低限媒体対向面Sから後退させた位置であっても、MR膜27を精度よく配置形成することができる。これにより多くの信号磁束をMR膜27に導くことができる。従って、従来のヨーク型MRヘッドの欠点の1つであった出力低下を回避することが可能となる。平面状の磁気ヨーク23上にMR膜27を配置しているため、磁気ヨーク23となる一对の磁性体層24とMR膜27とのオーバーラップ量を、MR膜27の媒体対向面Sからの距離に関係なく設定することができる。よって、再生出力のばらつきを小さくすることが可能となる。

【0043】ここで、MR膜27の幅は小さい方が、単位幅当たりにより多くの磁束(信号磁界)をMR膜27に導くことができ、より良好な再生出力が得られる。MR

膜27の磁化は、その幅方向に平行な状態から長手方向(磁気回路による磁束方向)まで動くことが望ましい。ただし、単磁性膜からなるMR膜では、幅方向のエッジにおいて磁化がカーリングを起こすため、MR膜の幅を小さくすると磁化が幅方向と平行になりにくくなる。

【0044】これに対して、一对の強磁性層間に非磁性層を介在させた3層積層構造のMR膜の場合には、センス電流方向と磁束方向とが概ね平行となるようにすれば、その幅を $3\mu\text{m}$ 程度と狭くしても、信号磁束により強磁性層の磁化を幅方向平行から長手方向まで動かすことができる。よって、MR膜27における磁化方向の変化を良好に保った上で、MR膜27の幅を小さくして単位幅当たりより多くの磁束を導くことができる。ひいては、大きな再生出力を得ることが可能となる。この際、3層積層構造のMR膜としてスピンバルブ膜を用いれば、MR膜27の磁化を幅方向平行から長手方向まで動かすことができる利点をより有効に活用することができる。

【0045】図2は上記実施形態の変形例の構成を示す図である。同図に示すヨーク型MRヘッドにおいて、磁性体リード部29は第1の磁性体層24aとその上に形成した低抵抗の第2の磁性体層24bとで構成されている。すなわち、第1の磁性体層24aと第2の磁性体層24bとの抵抗値の関係は、第1の磁性体層24aの抵抗値を $R_1$ 、第2の磁性体層24bの抵抗値を $R_2$ としたとき、 $R_1 > R_2$ とされている。第1の磁性体層24aと第2の磁性体層24bとの具体的な組合せとしては、例えばフェライトやパーマロイ系の磁性体とアモルファス磁性合金との組合せ、アモルファス磁性合金とフェライトとの組合せ等が挙げられる。

【0046】このような構造を採用した場合、低抵抗の第2の磁性体層24bが磁性体リード部29としての役割を主として担う。よって、第1の磁性体層24aへのシャント電流を抑制することができる。これはMR膜27の感度を増大させる。

【0047】なお、磁気ヨーク23および磁性体リード部29を構成する磁性体層としては、3層以上の多層膜や、磁性体層形成時に添加元素を徐々に加えることにより成膜方向に濃度分布を与えて抵抗値を連続的に変化した膜等、種々の形態の磁性体層を使用することができる。

【0048】次に、本発明の第1の磁気抵抗効果ヘッドの他の実施形態によるヨーク型MRヘッドについて、図3を参照して説明する。

【0049】図3に示すヨーク型MRヘッドは、前述した実施形態と同様に、絶縁下地層22を有する $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$ 基板21の上に、磁気ヨーク23および磁性体リード部29を構成する第1および第2の磁性体層31、32が設けられている。この実施形態における第1および第2の磁性体層31、32は、媒体対向面S側に



介在された磁気ギャップ25と後方部分に介在された磁気ギャップ33とを介して、閉磁気回路を構成するように対向配置されている。この閉磁気回路を構成する部分が磁気ヨーク23となる。なお、磁気ギャップ33は製造工程の際に、磁気ギャップ25と同時に形成されたものである。

【0050】第1の磁性体層31上には、長手方向を媒体対向面Sから離れる方向に向けてMR膜27が設けられている。このMR膜27が形成された第1の磁性体層31の両端部は、それぞれ磁性体リード部29とされている。これら磁性体リード部29には、前述した実施形態と同様に、Cu等からなる低抵抗リード部30がそれぞれ接続されている。なお、これら以外の構成については、前述した実施形態と同様とされている。

【0051】この実施形態のヨーク型MRヘッドにおいて、記録媒体から媒体対向面S側の磁気ギャップ25を介して磁気ヨーク23に流入した信号磁束は、閉磁気回路を構成する磁気ヨーク23を通してMR膜27に導かれる。MR膜27へのセンス電流は、低抵抗リード部30から第1の磁性体層31の端部に設けられた磁性体リード部29を介して供給される。

【0052】上記した実施形態のヨーク型MRヘッドにおいては、前述した実施形態と同様な効果が得られる。さらに、平坦な磁性体層31上にMR膜27を配置しているため、MR膜27の特性をより良好に引き出すことができる。例えば、図1および図2に示した実施形態のヨーク型MRヘッドでは、バックギャップ26上にMR膜27を配置しているため、平坦化プロセスで除去しきれなかった段差をMR膜27が受けてしまうおそれがある。この場合高精度なプロセス技術を要する。この実施形態ではこのような困難を除くことができる。ただし、MR膜27を磁気ヨーク23（磁性体層31）上に形成しているため、その分だけシャント電流が多くなる。このシャント電流を低減して感度の向上を図る上で、図2に示したような多層構造の磁性体層を用いることは有効である。この場合、少なくとも第1の磁性体層31を多層構造とすればよい。

【0053】なお、図1および図2に示したヨーク型MRヘッドにおいても、磁気ヨーク23を構成する部分の磁性体層（磁気コア）をリング状とすることによって、平坦な磁性体層上にMR膜27を配置することができる。この場合、図3に示したヨーク型MRヘッドと同様な効果が得られる。このような構成においては、図2に示した多層構造の磁性体層を用いることが有効である。

【0054】次に、本発明の第2の磁気抵抗効果ヘッドを適用したヨーク型MRヘッドの第1の実施形態について、図4を参照して説明する。

【0055】図4に示すヨーク型MRヘッドは、図1に示した実施形態と同様な絶縁下地層22を有するAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・TiC基板21の上に、磁気ヨーク23を構成す

る一対の磁性体層24が設けられている。この磁気ヨーク23の媒体対向面S側には、例えばCu、Ag、Au、Ta、Ti、W、Mo、Nb等の非磁性低抵抗材料からなる磁気ギャップ34が介在されている。一対のリード28は、MR膜27に直接接続したCu等の低抵抗材料層からなるものである。磁気ヨーク23は、MR膜27を介して一対のリード28と電氣的に接続されている。そして、磁気ヨーク23とMR膜27は、磁気ギャップ34を介してリング状の磁気コアを形成している。

【0056】なお、他の構成については、図1に示した実施形態と同様とされている。図4において、実線矢印Aは記録媒体から磁気ヨーク23に導かれた信号磁界の方向、すなわち磁気ヨーク23による磁気路を示している。矢印Bは記録媒体の進行方向を示している。

【0057】この実施形態のヨーク型MRヘッドにおいては、非磁性低抵抗材料からなる磁気ギャップ34を用いており、磁気ヨーク23は磁気ギャップ34を介して電流路を形成している。従って、リード28から供給された電流は磁気ヨーク23に分流して流れる。すなわち、ヨーク型MRヘッドの動作時において、磁気ヨーク23を流れる電流は磁界（電流磁界）を生じさせる。MR膜27についても同様である。電流磁界の方向は、磁気ヨーク23による磁気路に対して略垂直方向となる。磁気ヨーク23およびMR膜27には、電流磁界によりバイアス磁界（磁気バイアス）が印加される。

【0058】磁気ヨーク23に電流が供給されていない場合には、図5Aに示すように、磁気ヨーク23の磁区は磁壁を有している。磁気ヨーク23に電流を供給して電流磁界によるバイアス磁界を印加すると、図5Bに示すように、磁気ヨーク23はおおよそ単磁区状態となる。図5において、実線矢印Cは磁化方向を示している。そして、バイアス磁界により磁区制御された磁化Cの方向は、磁気ヨーク23の磁気路に対して略垂直方向とされている。

【0059】この実施形態のヨーク型MRヘッドでは、記録媒体から信号磁束が磁気ヨーク23内に流入するとき、磁気ヨーク23の磁区制御によって磁化回転モードとなる。これによって、高周波透過率が良好になると共に、バルクハウゼンノイズを抑制することができる。特に、磁気ヨーク23の磁化Cを磁気路に対して略垂直方向とすることによって、バランスのとれた出力再生波形を得ることができる。なお、この実施形態のヨーク型MRヘッドにおいて、磁気ヨーク23の形状、MR膜27の配置位置、磁性体層24とMR膜27との位置関係（オーバーラップ量等）に伴う効果は、前述した実施形態と同様に得られる。よって、良好な再生出力が得られると共に、そのばらつきを小さくすることができる。

【0060】図6は上記実施形態の変形例の構成を示す図である。同図に示すヨーク型MRヘッドにおいて、磁気ヨーク23を構成する一対の磁性体層24とMR膜2

7との間には、それぞれ高抵抗磁性材料層35が介在されている。このように、高抵抗磁性材料層35を介在させることによって、磁気ヨーク23に流れる電流量を制御することができる。すなわち、磁気ヨーク23への電流の流れすぎを防ぎ、MR膜27に流れるセンス電流の低下を抑制することができる。これによって、MRヘッドの感度低下を抑制することが可能となる。高抵抗磁性材料層35としては、Co-Al-O等のグラニューラ構造膜やMn-Zn-FeO等の導電性フェライト膜等を使用することができる。また、MR膜27にバイアス磁界を付加するために、CoPt膜等の硬磁性膜やIrMn膜等の反強磁性膜を用いることができる。

【0061】図4および図6に示したヨーク型MRヘッドにおいては、磁気ヨーク23に単層の磁性体層24が用いられている。磁気ヨーク23は、さらに図7に示すように、2つの強磁性層36間に非磁性低抵抗材料層37を介在させた積層膜38で構成することができる。単層構造の強磁性層を用いた場合には、その中央付近に180°磁壁が残るおそれがある。一方、2つの強磁性層36間に非磁性低抵抗材料層37を介在させ、非磁性低抵抗材料層37に主として電流を流すことによって、180°磁壁の発生を防止することができる。これによって、より一層良好にバルクハウゼンノイズの発生を防ぐことが可能となる。

【0062】上記した非磁性低抵抗材料層37としては、例えばCu、Al、Au、Ag、Zr、Hf、Ta、Ti、Cr等を用いることができる。また、このような低抵抗材料を用いた場合、磁気ヨーク23に分流した電流を中央に集中させることができるため、小さい電流で各強磁性層36に十分な電流磁界を印加することができる。図7において、破線矢印Dは電流磁界を示している。

【0063】さらに、図8に示すように、非磁性低抵抗材料層37を強磁性層36の中心付近に埋め込んだ埋め込み型積層膜39を、磁気ヨーク23として用いてもよい。このような埋め込み型積層膜39においては、電流を集中させる点については図7に示した積層膜38と同様であるが、非磁性低抵抗材料層37を中心として還流磁区構造が形成される。この場合、媒体対向面Sにおける磁化の向きが媒体対向面Sと平行となるため、記録媒体に対して漏れ磁束を発生することがない。従って、磁気ヨーク23が記録媒体の信号を消してしまうおそれがない。

【0064】なお、図4および図6ではMR膜27がバックギャップ26上に配置されている。MR膜27は、例えば図9および図10に示すように、磁気ギャップ34を介してリング状に形成した磁性体層24（リング状磁気コア）上に配置してもよい。このような場合には、磁気ヨーク23への分流量を制御することができる図10に示す構造が特に有効である。

【0065】図11は、図1や図2に示したヨーク型MRヘッドと同様に、非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25を用いた例である。このような構成においては、磁気ギャップ25上に磁気ギャップ34と同様な非磁性低抵抗材料からなる電流バス40を形成する。この電流バス40によって、上述した実施形態と同様な効果を得ることができる。

【0066】上述した第2のMRヘッドに関する各実施形態は、いずれも第2のMRヘッドの構成のみを適用したものである。さらに、例えば図1に示したヨーク型MRヘッドにおいて、非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25に代えて、図4に示した非磁性低抵抗材料からなる磁気ギャップ34を配置したり、あるいは非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25上に、図11に示した非磁性低抵抗材料からなる電流バス40を形成することができる。これらの構造では、磁気ヨーク23に電流を分流させてバイアス磁界を印加することができる。このような構造のヨーク型MRヘッドによれば、磁性体リード29を使用した効果と磁気バイアスの印加による効果を共に得ることができる。ヨーク型MRヘッドの特性はより一層向上する。

【0067】上述したような構造のヨーク型MRヘッドにおいては、図12に示すように、磁気ヨーク23および磁性体リード部29となる磁性体層全体を、第1の磁性体層24aとその上に形成した低抵抗の第2の磁性体層24bとで構成することが好ましい。これによって、シャント電流による感度の低下を抑制することが可能となる。なお、第1の磁性体層24aおよび第2の磁性体層24bの具体的な構成は前述した通りである。上記した2層積層構造の磁性体層に代えて、図7に示した積層膜38や図8に示した埋め込み型積層膜39からなる磁性体層を用いることも有効である。

【0068】さらに、MR膜27の長手方向を媒体対向面Sから離れる方向に向けて配置する場合においても、同様な構造を採用することができる。例えば、図3に示したヨーク型MRヘッドにおいて、非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25に代えて非磁性低抵抗材料からなる磁気ギャップ34を配置したり、あるいは非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25上に図11に示した非磁性低抵抗材料からなる電流バス40を形成することができる。

【0069】非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25を用いる場合には、図13に示すように、低抵抗リード部30を第1の磁性体層31から磁気ギャップ25、33を越えて第2の磁性体層32上に到達するように形成する。あるいは、図14に示すように、低抵抗リード部30を第1の磁性体層31および第2の磁性体層32の双方と接続するように形成する。これらの構造では、低抵抗リード部30は非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25上の電流バスの役割を兼ねる。従って、製造プロ

セスが単純となり、製造歩留りを向上させることができる。

【0070】上述した各実施形態のヨーク型MRヘッドにおいて、信号磁界により形成される磁気路と磁気ヨーク23の磁化容易軸とが平行である場合には、前述したように、信号磁界の反転の際に磁気ヨーク23の急激な磁化反転が生じる。これはバルクハウゼンノイズ等の信号ノイズの発生原因となるおそれがある。このような信号ノイズの発生を低減するために、記録媒体からの信号磁界を導く磁気ヨーク23の磁化容易軸は、磁気路方向と直交させることが好ましい。このような磁気ヨーク23の磁気異方性の付与方法としては、以下に示す磁気ヨーク23の材料選択および磁界中熱処理が挙げられる。

【0071】(1) 磁気ヨークをキュリー温度またはネール温度の異なる2種以上の磁性体を組合せて構成し、成膜時あるいは成膜後の熱処理過程で、温度を変えて異なる方向の磁界を加え、直交させた磁気異方性を付与する。

【0072】(2) 磁気ヨークに電流を流しながら熱処理（アニール）し、電流磁界により磁気異方性を付与する。

【0073】上述した磁気異方性の付与方法のうち、(1)の方法は2種以上の磁性体を組合せて使用する必要があり、さらにそれぞれのキュリー点またはネール温度の分布や熱揺らぎの影響等も考慮して材料を選択しなければならない。さらに、磁界中アニールにおいては、磁界方向の回転等の複雑な工程が必要である上に、それぞれの磁性体膜の磁気異方性の方向や分散が磁場方向を変化させる温度に左右される。このようなことから、安定した特性を再現性よく得ることは難しい。

【0074】これに対して、(2)の方法は熱処理時に磁気ヨークに電流を流すことにより、電流磁界を磁気異方性の付与に利用している。このように、磁界発生手段が電流である場合には、磁界は電流に垂直な方向に加わるため、曲折部を有する磁気ヨークであっても各部位に応じて磁気異方性を付与することができる。

【0075】すなわち、磁気ヨークの形状に応じて、部位により異なる磁気異方性を付与することができる。また、磁界発生手段が電流であるために、磁気ヨークに印加する磁界の方向を微細に制御することができる。従って、熱処理時の電流の流路を工夫することによって、コ字型、ロ字型、L字型等の各種形状の磁気ヨークにおいても、磁気ヨーク全体に対して磁化容易軸と磁気路とを略直交させた磁気異方性を付与することができる。

【0076】磁化容易軸と磁気路とを略直交させた磁気異方性は、信号磁界が反転する際の磁気ヨークの急激な磁化反転を防止する。よって、バルクハウゼンノイズ等の信号ノイズの発生が抑制される。通常の外部コイル等を磁界発生手段として用いた場合、一方向の磁界しか加えることができないため、磁気ヨーク全体に対して磁気

路と略直交する磁気異方性を付与することはできない。

【0077】磁気異方性は、磁気ヨークに例えば0.1～100mA程度の電流を流しながら、磁気ヨークの磁気異方性が動く温度以上の温度に一定時間保持することにより付与する。あるいは、磁気ヨークに例えば1mA～1A程度のパルス電流を印加することによっても、磁気異方性を付与することができる。パルス電流を使用する場合、磁気ヨークの温度が室温程度であっても、磁気異方性を付与することができる場合がある。

【0078】図15は、上述した電流磁界を印加しながら熱処理（電流磁界中アニール）した磁気ヨーク23を示している。この磁気ヨーク23は、非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25を介してリング状に形成された磁性体層24（リング状磁気コア）からなる。このリング状の磁性体層24上にはMR膜27が形成される。なお、ヨーク型MRヘッド全体の構造としては、例えば図4や図9に示したヨーク型MRヘッドの非磁性低抵抗材料からなる磁気ギャップ34を、非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25に変更した構造等が適用される。このヨーク型MRヘッドは、本発明の第3の磁気抵抗効果ヘッドの一実施形態に相当するものである。

【0079】図15に示したように、非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25を適用する場合には例えば磁気ギャップ25の両端に電流流入口41と電流流出口42を設けておく。これらから磁気ヨーク23に電流（図中破線矢印Eで示す）を流し、図中破線矢印Dで示す電流磁界を磁気ヨーク23に印加しながら熱処理を施す。磁気ギャップ25の近傍に設けた電流流入口41から供給された電流Eは、磁気ヨーク23の磁気路と同一経路をたどって電流流出口42に流れる。この電流Eに対して垂直方向に生じる電流磁界Dを利用して、磁気ヨーク23に磁気異方性を付与する。これによって、磁気ヨーク23全体として磁気路と磁化容易軸Fとが略直交する磁気異方性が得られる。すなわち、磁気ヨーク23の形状に応じて、部位により異なる方向に磁気異方性が付与された、言い換えると部位により磁化容易軸Fの向きが異なる磁気ヨーク23が得られる。

【0080】このような磁気ヨーク23を有するヨーク型MRヘッドにおいては、磁気ヨーク23全体として磁気路と磁化容易軸Fとが略直交しているため、磁気ヨーク23全体として信号磁界が反転する際の急激な磁化反転を防ぐことができる。従って、バルクハウゼンノイズ等の信号ノイズの発生を良好に抑制することができ、より特性の安定したヨーク型MRヘッドを得ることが可能となる。

【0081】また、非磁性低抵抗材料からなる磁気ギャップ34を適用する場合には、例えば図16に示すように、磁気ヨーク23の対角位置に電流流入口41と電流流出口42を設けておく。これらから磁気ヨーク23全体に電流Eを流しながら熱処理を施すことによって、磁

気ヨーク23全体として磁気路と磁化容易軸Fとが略直交する磁気異方性を得ることができる。さらに、非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25を適用する場合においても、例えば図17に示すように、磁気ギャップ25部分に非磁性低抵抗材料からなる電流バス40を設けておくことによって、図16と同様な磁気異方性を付与することができる。

【0082】さらに、図16および図17に示す磁気ヨーク23を有するヨーク型MRヘッドは、前述した動作時に電流供給によりバイアス磁界（磁気バイアス）を磁気ヨーク23に印加する構成を採用することができる。このため、磁気ヨーク23の磁区制御と磁気異方性制御とによって、より一層良好にパルクハウゼンノイズ等の信号ノイズを抑制することが可能となる。

【0083】電流磁界により磁気異方性を制御する場合、磁気ヨーク23を構成する磁性体層24は図15に示したような単層構造に限られるものではない。例えば、図18に示すように、2種以上の強磁性層36a、36bの積層膜43を使用することができる。

【0084】さらに、強磁性層と非磁性層との積層膜は、磁気異方性の付与に対して有効である。図19は2つの強磁性層36間に非磁性低抵抗材料層37を介在させた積層膜38を示している。このような積層膜38においては、下側の強磁性層36と上側の強磁性層36との間に静磁結合が生じやすくなるため、磁束が各強磁性層36の内部にまで入りやすくなる。これにより、電流磁界を磁気ヨーク23に有効に印加することができる。

【0085】図20に示すように、強磁性層36と非磁性層37とを交互に多重積層した積層膜44を、磁気ヨーク23として使用することも可能である。この場合には、複数の非磁性層37に対して選択的に電流を供給することによって、複数の強磁性層36のそれぞれに良好に磁気異方性を付与することができる。複数の非磁性層37に対して選択的に電流を流す場合には、電流を流す非磁性層37のみを非磁性低抵抗材料で形成する。電流を流さない非磁性層は非磁性絶縁材料で形成する。積層膜44の積層数は特に限定されるものではない。図21に示すように、（強磁性層36／非磁性層37）<sub>n</sub>／強磁性層36（ $n \geq 1$ ）構造の積層膜44を使用することができる。

【0086】図22に示すように、2つの強磁性層36間に非磁性絶縁層45を介在させた積層膜46であってもよい。非磁性絶縁層47としては、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_x$ 、 $AlN$ 、 $SiN_x$ 、 $BN$ 等を用いることができる。この積層膜46によれば、単層構造膜に比べて磁気ヨーク23への電流磁界の印加状態を改善することができる。強磁性層を非磁性層で切ることにより、上下の強磁性層36間に静磁結合をうながし、一軸異方性が付与されやすくなる。ただし、図19に示した積層膜38や図20および図21に示した積層膜44は、電流供給に

より磁気バイアスを磁気ヨーク23に印加する構成にも適合する。従って、より好ましい構造といえることができる。

【0087】磁気ヨーク23は、さらに強磁性層に隣接して少なくとも1つの反強磁性層を配置した積層膜を使用することができる。すなわち、磁気ヨーク23は強磁性層と反強磁性層との積層膜、あるいは強磁性層と非磁性層と反強磁性層との積層膜により構成することができる。この積層膜としては、（強磁性層／非磁性層）<sub>n</sub>／強磁性層（ $n \geq 1$ ）構造の少なくとも1つの強磁性層に接して反強磁性層を配置したものが例示される。

【0088】このように、強磁性層に隣接して反強磁性層を設けた場合、電流磁界により強磁性層に印加された所定方向（磁気路と略直交する方向）の一軸磁気異方性は、反強磁性層からの交換異方性によって、より強固に固着される。この磁気異方性のより強固な固着化は、ヘッドの動作温度の高温化等に対して特に有効である。反強磁性層には、 $FeMn$ 、 $IrMn$ 、 $NiMn$ 、 $RhMn$ 、 $PtMn$ 、 $PdMn$ 、 $CrMn$ 、 $IrCrMn$ 、 $PdPtMn$ 、 $CrMnPt$ またはこれらの合金、あるいは $NiO$ 等を使用することができる。

【0089】反強磁性層を含む積層膜の具体的な構造としては、図23に示すように非磁性低抵抗材料層37を介して2つの強磁性層36を積層し、このうちの一方の強磁性層36に隣接させて反強磁性層47を積層した積層膜48や、図24に示すように2つの強磁性層36にそれぞれ反強磁性層47を隣接させた積層膜49等が挙げられる。さらに、図25に示すように、反強磁性層47を内側に配置した積層膜50であってもよい。このような積層膜50によれば、各強磁性層36に交換異方性を効率的に付与することができる。これらの積層膜において、非磁性層を除いて積層膜を構成することもできる。

【0090】反強磁性層を含む積層膜は、図26に示すように、強磁性層36と非磁性層37とを交互に多重に積層し、このうちの外側の各強磁性層36にそれぞれ隣接させて反強磁性層47を積層した積層膜51であってもよい。多重積層構造の積層膜は、図27に示すように、反強磁性層47を内側に配置した積層膜51であってもよい。

【0091】上述した反強磁性層を含む積層膜において、非磁性層37は非磁性低抵抗材料層に限らず、図22と同様に非磁性絶縁層45であってもよい。非磁性絶縁層45のみを使用する場合には、電流磁界を発生させるための低抵抗金属層を積層膜の近傍に配置する。電流磁界を発生させるための金属層については後述する。

【0092】図24に示した積層膜49においては、非磁性層37の膜厚を例えば5nm以上として各強磁性層36間の層間結合を小さくし、強磁性層36間の静磁結合を主として利用することが好ましい。このような各強磁

性層36に反強磁性層47をそれぞれ接して設けることによって、各強磁性層36に強固な一軸磁気異方性を付与することができる。非磁性絶縁層45を用いて、強磁性層36間の層間結合を断った場合にも、同様な構造を採用することによって、各強磁性層36に強固な一軸磁気異方性を付与することができる。

【0093】図23に示した積層膜48や図26に示した積層膜51においては、非磁性層37の膜厚を例えば3nm以下とし、強磁性層36間を層間結合により緩やかに結合させることによって、全強磁性層36に一軸磁気異方性を付与することもできる。

【0094】強磁性層36と反強磁性層47との交換相互作用は適当な大きさに調節することが好ましい。強磁性層36と反強磁性層47との交換相互作用が強すぎると、強磁性層36の磁化は固着される。この場合、磁気ヨーク23の磁化は信号磁界で自由に回転しなくなる。逆に、強磁性層36と反強磁性層47との交換相互作用が弱すぎると、強磁性層36と反強磁性層47との交換相互作用を通して、強磁性層36に十分に一軸磁気異方性を付与することができない。交換相互作用の大きさは、強磁性層36や反強磁性層47の膜厚を調整したり、界面に飽和磁化が小さい0.1～3nm程度の薄い層を挿入する等により調節することができる。

【0095】反強磁性層47の厚さは、上述したような理由から2～50nm程度の範囲から適宜選択する。強磁性層36の厚さは1～500nm程度の範囲から適宜選択する。強磁性層36の厚さは10～250nmの範囲であることがより好ましい。非磁性層37、45の厚さは0.5～100nm程度の範囲から適宜選択する。非磁性層37、45の厚さは1～10nmの範囲であることがより好ましい。反強磁性層を含む積層膜の厚さは、実質的な磁気ヨーク23の厚さが記録トラック幅より狭くなるように設定される。具体的な厚さは10～2000nm程度であることが好ましい。より好ましくは100～500nm程度である。実質的な磁気ヨーク23の厚さとは、外側に反強磁性層47を配置した場合、その厚さを除く積層膜の厚さである。

【0096】図28は本発明の第3の磁気抵抗効果ヘッドの他の実施形態を示している。同図に示すヨーク型MRヘッドにおいて、磁気ヨーク23を構成する磁性体層24には絶縁体層53を介して非磁性金属層54が積層配置されている。非磁性金属層54は、電流磁界を発生させるための電流印加層であり、例えばAu、Al、Cu等の良導体で形成することが好ましい。

【0097】この電流磁界発生用の非磁性金属層54の厚さは1～1000nm程度とすることが好ましい。非磁性金属層54の厚さが1nm未満というようにあまり薄いと、電流密度が極端に高くなり、電気回路の一部に電流集中してジュール発熱等で電流の流れが不均一になるおそれがある。一方、非磁性金属層54の厚さが1000nmを超えると、電流密度が低くなるために磁性体層24に加わる

電流磁界が小さくなり、電流磁界による磁気異方性を十分に制御できないおそれがある。非磁性金属層54の厚さは10～800nmの範囲とすることがより好ましく、さらに好ましくは50～500nmの範囲である。

【0098】磁性体層24と非磁性金属層54との間に介在させる絶縁体層53には、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等が用いられる。磁性体層24は単層構造膜に限らず、2種以上の強磁性層の積層膜、強磁性層と非磁性層との積層膜等であってもよい。電流磁界発生用の非磁性金属層54を別途設けているため、磁性体層24は絶縁体を含むものであってもよい。

【0099】電流磁界発生用の非磁性金属層54を別途設けることによって、磁性体層24に印加する電流磁界の方向を自由に設計することができる。これによって、磁気ヨーク23の磁気異方性の方向をより細やかに制御することが可能となる。図28に示したヨーク型MRヘッドでは、例えば図29に示すように、非磁性金属層54の対角位置に電流流入口41と電流流出口42を設けておくことにより、図16と同様な磁気異方性を磁性体層24に付与することができる。

【0100】電流磁界発生用の非磁性金属層54を別途設ける場合の構造は、図30に示すように、非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25が絶縁体層53および非磁性金属層54まで伸びた構造であってもよい。このような構造においては、例えば図31に示すように非磁性金属層54の対角位置に電流流入口41と電流流出口42を設けておくと共に、磁気ギャップ25部分に電流バス40を設けておく。これにより、磁性体層24に対して良好に磁気異方性を付与することができる。あるいは、図32に示すように、磁気ギャップ25の両端に電流流入口41と電流流出口42を設けておくことによっても、磁性体層24に良好に磁気異方性を付与することができる。

【0101】磁気ヨーク23に対する熱処理は、基板上に複数個の磁気ヨーク23を少なくとも形成しておき、これらに一括して電流磁界を印加しながら行うことが好ましい。熱処理はMR膜やリードの形成後に実施してもよい。この際、複数個の磁気ヨーク23はそれぞれを直列に接続して形成し、複数個の磁気ヨーク23に一括して電流を供給できるようにしておくことが好ましい。

【0102】例えば、図15、図16および図17に示した磁性体層24において、図33、図34または図35に示すように、1つの素子の電流流出口42と他の素子の電流流入口41とを電気回路的に直列に連結させておく。図29、図31および図32に示した電流磁界発生用の非磁性金属層54の場合も同様である。このような構造によって、基板上に複数個形成した素子全てに一括して電流を供給することができる。

【0103】ヨーク型MRヘッドは、磁気ヨーク23に熱処理を施した後に、MR膜27およびそれにセンス電

流を供給する一対のリード28を形成し、さらにヘッド加工工程を経て得られる。MR膜27としてスピンバルブ膜等を用いる場合、さらに磁化固着のための磁界中アニールを実施する。

【0104】上述した電流磁界を印加しながら熱処理した磁気ヨーク23を有するヨーク型MRヘッドの具体例およびその評価結果について述べる。

#### 【0105】実施例1

まず、以下に構造を示す試料1~4のヨーク型MRヘッドを、その製造工程で後述する3種類の熱処理をそれぞれ施して作製した。後述の3種類の熱処理のうち、熱処理(1)、(2)は上述した電流磁界を印加しながらの熱処理に相当するもの(本発明の実施例)であり、熱処理(3)は本発明との比較例として記載したものである。なお、MR膜にはCoFe/Cu/CoFe/IrMn構造のスピンバルブ膜を用いた。

【0106】【試料1】：図15に示した磁気ヨーク23を有するヨーク型MRヘッド(全体構造は図6に示したものの、ただし磁気ギャップは非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ25)を、磁性体層24にアモルファスCoZrNb(a-CoZrNb)磁性膜とNiFe合金膜との積層膜を用いると共に、磁気ギャップ25にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いて作製した。磁気ヨーク23とMR膜27との間の高抵抗磁性材料層35には、絶縁性磁性体を用いた。

【0107】【試料2】：試料1において、磁性体層にNiFe/Cu/NiFe積層膜を用いる以外は、試料1と同様な構造のヨーク型MRヘッドを作製した。

【0108】【試料3】：試料1において、磁性体層にa-CoZrNb/NiFe/Cu/a-CoZrNb/NiFe積層膜を用いる以外は、試料1と同様な構造のヨーク型MRヘッドを作製した。

【0109】【試料4】：図28に示したヨーク型MRヘッドを、磁性体層24にNiFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiFe積層膜、磁気ギャップ25に非磁性金属のTi、絶縁体層53にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、非磁性金属層54にAu、Al、Cu、Ag等の良導体膜、高抵抗磁性材料層35にCo-A1-O系グラニュー膜を用いて作製した。なお、非磁性金属層54に対する電流供給は図32に示した構造により実施した。

#### 【0110】【熱処理条件】

(1) 温度T<sub>H</sub>において、MRヘッドに電流流入口から電流流出口に向かう電流を流して電流磁界を印加し、この状態で一定時間保持した後、電流磁界を保持したまま温度T<sub>E</sub>まで冷却する。温度T<sub>E</sub>で電流磁界を取り去った後に、媒体対向面と平行な方向(Y方向/MR膜27の長手方向)に1~5kOeの外部磁場を印加し、外部磁場を保持したまま室温まで冷却する。

【0111】(2) 温度T<sub>H</sub>において、MRヘッドに電流流入口から電流流出口に向かう電流を流して電流磁界を

印加し、この状態で一定時間保持した後、電流磁界を保持したまま温度T<sub>E</sub>まで冷却する。温度T<sub>E</sub>で電流磁界を保持したままY方向に1~5kOeの外部磁場を印加して、電流磁界および外部磁場を保持したまま室温まで冷却する。

【0112】(3) 温度T<sub>H</sub>において、MRヘッドに媒体対向面と直交する方向(X方向/上記したY方向と直交する方向)に1~5kOeの外部磁場を印加して一定時間保持した後、外部磁場を保持したまま温度T<sub>E</sub>まで冷却する。温度T<sub>E</sub>で印加磁場の方向をY方向に変え、その後外部磁場を保持したまま室温まで冷却する。

【0113】なお、上記した熱処理条件において、温度T<sub>H</sub>は磁気ヨーク23の磁気異方性が動く温度である。温度T<sub>E</sub>は、磁気ヨーク23の磁気異方性は動かず、MR膜27の磁気異方性のみを制御することが可能な温度である。

【0114】上述した熱処理を施した後に、電流流入口、電流流出口、電流バス等を取り除き、さらに加工、実装を行って、それぞれヨーク型MRヘッドを得た。さらに、以下に示す試料5のヨーク型MRヘッドを作製した。

【0115】【試料5】：まず基板上に図15に示したリング状の磁気ヨークを形成した。磁気ヨークの具体的な構造は、図23に示した反強磁性層/強磁性層/非磁性層/強磁性層構造とした。強磁性層にはNi<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>合金膜およびNi<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>/a-CoZrNb積層膜をそれぞれ用いた。非磁性層にはCuを用いた。反強磁性層にはNi-Mn合金を用いた。磁気ヨークの微細パターンを形成した後、磁気ヨークの上下の強磁性層に磁気異方性を付与するために、磁気ヨークに10mAの電流を流し、723Kで10分間保持した。電流磁界により磁気異方性を付与した後、電流を止めて降温した。磁気ヨークは図35に示したように、複数個を直列に接続して形成した。この後、磁気ヨーク上にスピンバルブ膜を成膜し、GMR素子の微細パターンを形成した。スピンバルブ膜の磁化を固着するための磁界中アニールや微細加工、実装を行ってヨーク型MRヘッドを得た。具体的なヘッド構造は図6に示した構造を適用し、高抵抗磁性材料層35に絶縁性磁性体を用いた。

【0116】試料1~5の各ヨーク型MRヘッドについて、それぞれ数ピースずつ再生波形を評価し、ノイズの発生の有無を調べた。その結果として、各試料のノイズ発生確率を表1に示す。試料4については、磁気ヨーク23とMR膜27との間の絶縁性磁性体を高抵抗磁性体に代えて、ヘッド動作時にセンス電流の一部を磁気ヨーク23に分流させた場合についても、同様に再生波形を評価した。

【0117】いずれの試料においても、電流磁界をかけた状態で熱処理を施した実施例のヨーク型MRヘッドは、ノイズの発生確率が小さくなっていることが分か

る。さらに試料4から、ヘッド動作時にバイアス磁界を印加することによって、より良好な特性が得られることが分かる。

【0118】次に、試料1～5のMRヘッドの磁気ヨークとそれぞれ同様な構成を有し、ある相似比で拡大したパターンを磁区評価用試料1'～5'として作製した。磁区評価用試料1'～5'はパターンの大きさを10～20  $\mu\text{m}$  角とし、膜厚は同一とした。これら磁区評価用試料1'～5'に対して、試料1～5と同様に条件(1)～(3)の熱処理を施した。磁区評価用試料1'～5'における条件(3)の熱処理を施した比較例試料(比較例試料の磁気ヨークに対応)、および条件(1),(2)の熱処理を施した実施例試料(実施例試料の磁気ヨークに対応)について、カー効果実験によりスポットを絞って磁化方向を観察した。観察点は図41に示すように、各試料とも磁気ヨーク上のA～Cの3点とした。パターン角を10～20  $\mu\text{m}$  とした理由はカー効果実験により磁区を観察しやすくするためである。

【0119】試料1の比較例試料の磁気ヨークに対応する試料は、無磁界中において3点の観測点の磁化が図42に示した方向に配列していた。すなわち、A、B、Cの3点の観測点において、いずれも同方向に磁気異方性が付与されており、A点およびB点の磁気異方性は磁気路と平行であった。一方、良好な再生特性が得られた試料1の実施例試料の磁気ヨークに対応する試料は、無磁界中において3点の観測点の磁化が図43に示した方向に配列していた。すなわち、A点およびB点では幅方向に磁気異方性が付与され、C点ではそれと略直交する方向に磁気異方性が付与されていた。試料2～5の磁気ヨークに対応する試料についても同様な結果が得られた。

【0120】以上の実験から、電流磁界を印加しつつ熱処理を行った条件(1),(2)においては、磁気ヨークに磁気路と略直交する磁気異方性が付与されているため、バルクハウゼンノイズを大幅に低減できることが分かる。

【0121】そこで、以下に構造を示す試料6～13については磁気ヨークのみを作製し、カー効果実験による磁化方向の観察結果に基づいてノイズの発生確率を求めた。試料11、12のみ実験時にセンス電流を供給するため、リードのみを形成した。カー効果実験によるA～Cの3点において、少なくとも2点で磁気路と平行な方向の磁化が観察されたものを、ノイズ発生とみなした。その結果を表1に併せて示す。試料6～13の磁気ヨー

クにおいても、電流磁界をかけた状態で熱処理を施すことで、ノイズの発生確率が小さくなっていることが分かる。

【0122】[試料6]：試料1の磁気ヨークにおいて、磁性体層にNiFe合金膜を用いる以外は、試料1と同様な構造とした。

【0123】[試料7]：試料1の磁気ヨークにおいて、磁性体層にa-CoZrNb/NiFe/Cu/NiFe積層膜を用いる以外は、試料1と同様な構造とした。

【0124】[試料8]：試料1の磁気ヨークにおいて、磁性体層にNiFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiFe積層膜を用いる以外は、試料1と同様な構造とした。

【0125】[試料9]：試料1の磁気ヨークにおいて、磁性体層にa-CoZrNb/NiFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/a-CoZrNb/NiFe積層膜を用いる以外は、試料1と同様な構造とした。

【0126】[試料10]：試料1の磁気ヨークにおいて、磁性体層にa-CoZrNb/NiFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiFe積層膜を用いる以外は、試料1と同様な構造とした。

【0127】[試料11]：図28に示したヨーク型MRヘッドの磁気ヨークにおいて、磁性体層24にNiFe合金膜、磁気ギャップに非磁性金属であるTi、絶縁体層53にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、非磁性金属層54にAu、Al、Cu、Ag等の良導体膜を用いた。なお、非磁性金属層54に対する電流供給は、図29に示した構造により実施した。

【0128】[試料12]：試料11の磁気ヨークにおいて、磁性体層24にa-CoZrNb磁性膜とNiFe合金膜との積層膜を用いる以外は、試料11と同様な構造とした。

【0129】[試料13]：図30に示したヨーク型MRヘッドの磁気ヨークにおいて、磁性体層24にa-CoZrNb磁性膜とNiFe合金膜との積層膜、磁気ギャップ25にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、絶縁体層53にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、非磁性金属層54にAu、Al、Cu、Ag等の良導体膜を用いた。なお、磁気ヨーク23に対する電流供給は、図32に示した構造により実施した。

【0130】

【表1】



		熱処理条件	ノイズ発生確率 *
試料 1	比較例	(3) 外部磁場 (X=5kOe, Y=5kOe) のみ	100
		(2) 外部磁場 (X=1kOe, Y=1kOe) のみ	100
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	81
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	48
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=3kOe)	28
試料 2	比較例	(3) 外部磁場 (X=1kOe, Y=1kOe) のみ	92
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	50
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	47
試料 3	比較例	(3) 外部磁場 (X=5kOe, Y=5kOe) のみ	92
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	27
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	81
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=3kOe)	28
試料 4	比較例	(3) 外部磁場 (X=5kOe, Y=5kOe) のみ	100
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	41 (18)
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=2kOe)	53 (21)
試料 5	比較例	電流磁界印加せず	96
	実施例	電流磁界を印加しながらアニール	33
試料 6	比較例	(3) 外部磁場 (X=5kOe, Y=5kOe) のみ	100
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	48
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	52
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=3kOe)	44
試料 7	比較例	(3) 外部磁場 (X=2kOe, Y=3kOe) のみ	100
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	24
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	27
試料 8	比較例	(3) 外部磁場 (X=5kOe, Y=5kOe) のみ	100
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	59
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=5kOe)	56
試料 9	比較例	(3) 外部磁場 (X=2kOe, Y=3kOe) のみ	100
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	54
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	59
試料 10	比較例	(3) 外部磁場 (X=2kOe, Y=2kOe) のみ	100
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	44
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	46
試料 11	比較例	(3) 外部磁場 (X=5kOe, Y=5kOe) のみ	100
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	36 (14)
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=3kOe)	44 (18)
試料 12	比較例	(3) 外部磁場 (X=1kOe, Y=1kOe) のみ	92
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	21 (8)
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	46 (18)
試料 13	比較例	(3) 外部磁場 (X=5kOe, Y=5kOe) のみ	92
	実施例	(1) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	48
		(2) 電流磁界+外部磁場 (Y=1kOe)	55

\*: ( )内はヘッド動作時に電流磁界によりバイアス磁界印加

以下に示す実施例 2～5 については、上述した試料 6～13 と同様に、磁気ヨークのみを作製し、カー効果実験による磁化方向の観察結果に基づいてノイズの発生確率を求めた。

#### 【0131】実施例 2

基板上に、図 15 に示したリング状の磁気ヨークを形成した。磁気ヨークの具体的な構造は、図 23 に示した反強磁性層/強磁性層/非磁性層/強磁性層構造とした。強磁性層には  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 、 $\text{Ni}_{90}\text{Fe}_{10}$  および  $\text{Fe}_{85}\text{Al}_{15}\text{Si}_{10}$  をそれぞれ用いた。強磁性層の厚さはそれぞれ 1～500nm の範囲で変化させた。非磁性層には Cu を用いた。非磁性層の厚さは 0.5～100nm の範囲で変化させた。反強磁性層には  $\text{NiO}$ 、 $\text{Ir-Mn}$ 、 $\text{Ni-Mn}$  および  $\text{Cr-Mn}$  をそれぞれ用いた。反強磁性層の厚さはそれぞれ 2～50nm の範囲で変化させた。具体的な磁気ヨークの構造は表 2 に示す通りである。

#### 【0132】磁気ヨークの微細パターンを形成した後、

磁気ヨークの上下の強磁性層に磁気異方性を付与するために、磁気ヨークに 1～50mA の電流を流し、表 1 に示した温度 ( $T_k$ ) で 5～30 分間保持した。電流磁界により磁気異方性を付与した後、電流を止めて降温した。磁気ヨークは図 35 に示したように、複数個を直列に接続して形成した。

#### 【0133】実施例 3

基板上に、図 15 に示したリング状の磁気ヨークを形成した。磁気ヨークの具体的な構造は、図 24 に示した反強磁性層/強磁性層/非磁性層/強磁性層/反強磁性層構造とした。強磁性層には  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 、 $\text{Fe}_{85}\text{Al}_{15}\text{Si}_{10}$ 、および  $\text{Co-Fe-Ni}$  (下地層としてアモルファス  $\text{Co-Zr-Nb}$ 、 $\text{Ni-Fe}$  を有する) をそれぞれ用いた。強磁性層の厚さはそれぞれ 1～500nm の範囲で変化させた。非磁性層には Cu、Al、Ta を用いた。非磁性層の厚さはそれぞれ 0.5～100nm の範囲で変化させた。反強磁性層には  $\text{Ir-Mn}$ 、 $\text{Ni-Mn}$ 、P



d-MnおよびCr-Mnをそれぞれ用いた。反強磁性層の厚さはそれぞれ2~50nmの範囲で変化させた。具体的な構成は表3に示す通りである。上記構成の磁気ヨークを形成した後、実施例1と同様に、電流を流しながら熱処理を行った。電流磁界により磁気異方性を付与した。

#### 【0134】実施例4

表4にそれぞれ構造を示したリング状の磁気ヨークを、実施例2と同様にして作製した。この実施例4は磁気ヨークを構成する積層膜に、多重積層膜や反強磁性層を内

#### 【0135】実施例5

表5にそれぞれ構造を示したリング状の磁気ヨークを、実施例2と同様にして作製した。この実施例5は、磁気ヨークとして機能する積層膜を、 $Al_2O_3$  からなる絶縁層を介して、電流磁界発生用の非磁性金属層(CuやAl等)の上に形成したものである。

#### 【0136】実施例6

基板上に、図15に示したリング状の磁気ヨークを形成した。磁気ヨークの具体的な構造は表5に示す通りであ

る。磁気ヨークの微細パターンを形成した後、磁気ヨークの強磁性層に磁気異方性を付与するために、表5に示す温度まで加熱した磁気ヨークに対して、パルス電流(10mA, 50mA)を印加した。磁気ヨークは図35に示したように、複数個を直列に接続して形成した。

#### 【0137】比較例

本発明との比較例として、 $Ni_{80}Fe_{20}$ および $Fe_{85}Al_{15}Si_{10}$ の単層膜からなる磁気ヨークを作製した。この比較例の磁気ヨークには、電流を印加しながらの熱処理は施していない。

【0138】上述した実施例2~6および比較例による各磁気ヨークの磁化方向を、実施例1と同様にカー効果実験により観察した。カー効果実験によるA~Cの3点において、少なくとも2点で磁気路と平行な方向の磁化が観察されたものをノイズ発生とみなし、ノイズ発生確率を評価した。評価結果は表2~表5に示した通りである。表2~表5から、実施例2~6は比較例に比べてノイズ発生確率が低いことが分かる。

#### 【0139】

#### 【表2】

銅電極付 2 (基板-膜厚: nm)						
Wg/Pt20	Cu	Wg/Pt20	W10	Ta(O)	I(mA)	1/1発生率
1	8	8	25	423	1	1/2.
5	8	7	28	423	1	2/7.
10	8	28	30	473	1	3/18.
70	8	58	50	473	1	3/18.
100	10	208	50	473	3	4/20.
250	15	258	50	473	5	5/20.
250	20	258	50	473	10	5/20.
500	50	508	50	473	10	4/20.
Wg/Pt20	Cu	Wg/Pt20	W15	Ta(O)	I(mA)	1/1発生率
8	8	8	15	723	1	5/10.
10	8	10	15	723	1	5/12.
10	5	30	20	723	1	4/12.
70	5	50	25	723	1	2/12.
100	10	200	50	723	3	5/20.
250	15	250	50	723	5	4/20.
250	20	250	50	723	10	3/20.
500	50	500	50	723	10	3/20.
Wg/Pt10	Cu	Wg/Pt18	W15	Ta(O)	I(mA)	1/1発生率
70	8	58	25	723	1	4/12.
100	10	200	50	723	3	5/20.
250	15	250	50	723	5	3/20.
250	20	250	50	723	10	3/20.
500	50	500	50	723	10	4/20.
Wg/Pt20	Cu	Wg/Pt20	W15	Ta(O)	I(mA)	1/1発生率
8	8	8	15	573	1	4/12.
18	8	10	18	573	1	4/12.
18	5	30	20	573	1	5/12.
78	5	50	25	573	1	4/12.
100	10	200	50	573	3	5/20.
258	15	250	50	573	5	3/20.
258	20	250	50	573	10	4/20.
508	50	500	50	573	10	5/20.
Pd121	Cu	Pd121	Cr15	Ta(O)	I(mA)	1/1発生率
8	8	8	15	623	1	3/10.
10	8	10	15	623	1	3/12.
10	5	30	20	623	1	4/12.
70	5	50	25	623	1	3/12.
100	10	200	50	623	3	3/20.
250	15	250	50	623	5	4/20.
250	20	250	50	623	10	3/20.
500	50	500	50	623	10	3/20.

【表3】

実施例 3	反強磁性層1	強磁性層1	非磁性層	強磁性層2	反強磁性層2	Tb(Å)	I(mA)	1/f(発生率)
	IrMn(4)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (5)	Cu(5)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (5)	IrMn(2)	553	1	34%
	IrMn(5)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (20)	Cu(5)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (20)	IrMn(5)	573	3	26%
	IrMn(5)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (80)	Cu(5)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (50)	IrMn(5)	573	3	30%
	IrMn(7)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (200)	Cu(10)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (200)	IrMn(7)	573	5	22%
	NiMn(15)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (200)	Al(10)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (200)	NiMn(15)	723	5	18%
	IrMn(7)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (300)	Cu(30)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (500)	IrMn(7)	573	10	25%
	IrMn(7)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (300)	Ta(50)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (500)	IrMn(7)	573	10	28%
	NiMn(15)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (300)	Cu(30)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (300)	NiMn(15)	723	10	25%
	PdMn(10)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (300)	Cu(30)	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (300)	PdMn(10)	623	10	22%
	NiMn(15)	CoFeB(250)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (5)	Cu(30)	CoFeB(250)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (5)	NiMn(15)	723	10	34%
	NiMn(15)	FeAlSi(200)	Cu(30)	FeAlSi(200)	NiMn(15)	723	10	25%
	NiMn(15)	FeAlSi(300)	Al(30)	FeAlSi(300)	NiMn(15)	723	10	33%
	CrMn(15)	FeAlSi(400)	Ta(50)	FeAlSi(500)	CrMn(15)	673	10	28%

膜厚(nm)

【表4】

実施例 4	S-T構造 (nm)					Tb(Å)	I(mA)	1/f(発生率)
	NiMn(15)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (120)/Cu(20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (120)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (120)/NiMn(15)					723	10	22%
	IrMn(5)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (50)/Cu(10)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (50)/IrMn(5)					573	10	18%
	IrMn(5)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/Cu(30)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/IrMn(5)					573	10	33%
	PdMn(15)/Fe(1)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/Cu(30)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/PdMn(15)					623	10	30%
	NiMn(20)/Cu(1)/FeAlSi(120)/Cu(30)/FeAlSi(120)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/FeAlSi(120)/Cu(1)/NiMn(20)					723	10	25%
	IrMn(5)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (10)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (200)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (10)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/IrMn(5)					573	10	20%
	NiMn(20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/Cu(10)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (20)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (20)/Cu(10)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (150)/NiMn(15)					723	10	22%
	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (50)/Cu(5)/NiMn(20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)					723	1	18%
	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/Cu(10)/IrMn(5)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)					573	5	22%
	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/Al(5)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/Al(5)/NiMn(15)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)					723	10	18%
	NiO(20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/Cu(10)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/Cu(10)/NiO(20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)					473	10	22%
	PdMn(15)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/Cu(10)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/Cu(10)/Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (100)/PdMn(15)					623	10	22%

膜厚(nm)

【表5】

p-層 (nm)		Ta (T)	I (mA)	ΔI (%)
絶縁層	Cu(10)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Ta(10)	572	10	15%
	Cu(20)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (40)/Ta(10)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)	572	20	25%
	Al(20)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Ta(10)	572	20	25%
	Cu(20)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)	723	10	20%
	Cu(20)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)	723	20	25%
	Cu(20)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)	723	10	25%
	Cu(20)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Ta(10)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)	723	50	10%
	Cu(20)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Ta(10)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)	472	10	15%
	Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (10)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Cu(10)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Ta(10)	572	50	15%
	Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (10)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Cu(10)/Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)/Ta(10)	—	—	—
絶縁層	Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)	—	—	—
	Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50)	—	—	—
	Hf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (100)	—	—	—
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (50)	—	—	—
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (100)	—	—	—

膜厚 (nm)

次に、本発明の第2の磁気抵抗効果ヘッドを適用したヨーク型MRヘッドの第2の実施形態について、図36および図37を参照して説明する。

【0140】図36および図37は、この実施形態によるヨーク型MRヘッドの構成を示す図であり、図36はその媒体対向面方向からの斜視図、図37はその断面図である。これらの図に示すヨーク型MRヘッドは、前述した各実施形態と同様に、絶縁下地層22を有するAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・TiC基板21の上に、磁気ヨーク23を構成する一対の磁性体層24が形成されている。

【0141】この磁気ヨーク23となる一対の磁性体層24は、磁気ギャップ25を介して対向配置されている。一対の磁性体層24は、基板面に沿って並列形成されており、かつ基板面と略平行となる同一平面を有している。磁気ヨーク23となる一対の磁性体層24と磁気ギャップ25とは、基板面に対して平行に配置されている。なお、磁気ヨーク23や磁気ギャップ25等の構成材料等については、前述した実施形態と同様である。

【0142】磁気ヨーク23となる一対の磁性体層24の後方側、すなわち媒体対向面Sから後退した位置には、磁気ヨーク23にバイアス磁界（磁気バイアス）を印加する硬磁性層55がそれぞれ配置されている。硬磁性層55としては、例えばCoPt合金膜等が用いられる。この硬磁性層55により印加される磁気バイアスによって、磁気ヨーク23の磁区は制御されている。

【0143】磁気ヨーク23の磁気路と略平行な面上には、MR膜27が媒体対向面Sから所定距離後退した位置に配置されている。MR膜27は、一対の磁性体層24の基板面と略平行な平面の上側に、図36では図示を省略した絶縁層56を介して形成されている。なお、以下の他の実施形態においても、同様に磁性体層24とMR膜27との間は絶縁層56で絶縁されている。MR膜

27は、磁気ギャップ25をまたいで、一対の磁性体層24の双方と磁気的に結合するように配置されている。MR膜27の長手方向は、磁気ヨーク23の磁気路により導かれた信号磁界方向と略平行とされている。

【0144】MR膜27の後方側、すなわち媒体対向面Sから後退した位置には、MR膜27にバイアス磁界（磁気バイアス）を印加する硬磁性層57が配置されている。この硬磁性層57としては、上述した磁気ヨーク23に磁気バイアスを印加する硬磁性層55と同様に、CoPt合金膜等が用いられる。この硬磁性層57により印加される磁気バイアスによって、MR膜27の磁区は制御されている。

【0145】MR膜27上には、その両端に電気的に接続されたCu等からなる一対のリード28が形成されている。この一対のリード28は、磁気ヨーク23の磁気路と略平行なMR膜27の長手方向に、センス電流を流すように配置されている。MR膜27は絶縁膜を介して磁気シールド層により覆うことが好ましい。これにより外乱磁界によるノイズの発生を防止することができる。

【0146】上記構成のヨーク型MRヘッドにおいては、磁気ヨーク23およびMR膜27に硬磁性層55、57によりバイアス磁界（磁気バイアス）を印加しているため、磁気ヨーク23やMR膜27における磁区の発生が抑制される。よって、優れた線形応答性が得られる。特に磁気ヨーク23でのバルクハウゼンジャンプに起因するノイズを低減することができる。

【0147】さらに、MR膜27を最低限媒体対向面Sから後退させた位置に精度よく形成することができる。すなわち、MR膜27は媒体対向面Sに近接した位置に精度よく配置される。このため、多くの信号磁界をMR膜27に導くことができる。従って、従来のヨーク型MRヘッドの欠点の1つであった出力低下を回避すること

が可能となる。さらに、磁気ヨーク23となる一対の磁性体層24とMR膜27とのオーバーラップ量を、MR膜27の媒体対向面Sからの距離に関係なく設定することができる。よって、再生出力のばらつきを小さくすることが可能となる。以下、その効果を定量的に説明する。

【0148】すなわち、磁気ギャップ25（幅:  $g$ ）を挟んで対向する一対の磁性体層24（厚さ:  $t_1, t_2$ 、透磁率:  $\mu_1, \mu_2$ ）により媒体磁束を吸い上げる場合、磁性体を通る磁束密度は媒体対向面から遠ざかるにつれて減衰する。磁性体を通る磁束密度が磁性体先端における値より  $1/e$ に減衰する距離  $\lambda$  は特性長と呼ばれ、以下の式により与えられる。

【0149】

$$1/\lambda \sim (1/g \mu_1 t_1 + 1/g \mu_2 t_2) 0.5$$

例えば、記録密度が  $1\text{Gb/inch}^2$  の場合、図36に示すヨーク型MRヘッドでは  $g=0.25\mu\text{m}$ 、 $t_1=t_2=2\mu\text{m}$ 、 $\mu_1=\mu_2=1000$  程度である。特性長  $\lambda$  は  $16\mu\text{m}$  前後となる。よって、上記構成のMRヘッドにおいて、MR膜27を媒体対向面Sから  $1.0\mu\text{m}$  程度後退させても、ヘッドに流入する磁束の90%程度をMR膜27に導くことができる。よって、基本的に出力低下はない。ヘッドが  $0.5\mu\text{m}$  程度磨耗したとしても、ヘッドに流入する磁束は5%程度増えるだけである。従って、出力変動はほとんど無視することができる。さらに、磁気ヨーク23となる一対の磁性体層24とMR膜27とのオーバーラップ量を、MR膜27の媒体対向面Sからの距離に関係なく、十分に大きく設定することができるため、再生出力のばらつきは小さい。

【0150】硬質磁性層57に代えて、MR膜27にバイアス層を積層することによって、MR膜27を単磁区化してバルクハウゼンノイズを除去してもよい。バイアス層としては、CoPt等の硬質磁性膜（MR膜27（例えばスピナバルブ膜の場合には磁化フリー層）よりも保磁力または磁気異方性が大きな膜）、あるいはIrMn等の反強磁性膜が用いられる。具体的な構成例を挙げると、MR膜27に第1の反強磁性バイアス層（IrMn、NiMn等）／磁化ピン層（CoFe、Co、NiFeCo、NiFe等）／非磁性層（Cu等）／磁化フリー層（CoFe、Co、NiFeCo、NiFe等）の積層膜からなるスピナバルブ膜を用いる場合、磁化フリー層に隣接して第2のバイアス膜を積層する。この第2のバイアス膜によって、磁化ピン層に隣接した第1の反強磁性バイアス層とは  $90^\circ$  異なる方向（磁気ヨークからの信号磁束伝播方向（図37のz方向））に、磁化フリー層を単磁区化するバイアス磁界を付与する。第2のバイアス膜からのバイアス磁界が強すぎると感度が低下するので、第2のバイアス膜と磁化フリー層との間にバイアス磁界調整層（Cuやアルミナ等の非磁性層、あるいはNiFeNb等の飽和磁化の小さい磁性層）を

挿入して、バイアス磁界を弱めてもよい。

【0151】さらに、硬質磁性層57に代えてMR膜27のセンス電流による磁界を利用してもよい。MR膜27にスピナバルブ膜を用いる場合の一構成例を挙げると、磁化フリー層に電気絶縁層を介して軟磁性膜を積層する。従って、この軟磁性膜にはセンス電流は流れない。磁化フリー層と軟磁性膜とは同様な微細形状に加工される。このような構成を用いると、図37のx方向に通電されるセンス電流から発生する磁界によって、軟磁性膜は図37のz方向に磁化される。その結果、磁化フリー層には軟磁性膜からの静磁界が軟磁性膜の磁化方向とは  $180^\circ$  異なる方向（軟磁性膜の磁化がプラスz方向であればマイナスz方向）に加わり、z方向に磁化フリー層が単磁区化されて、バルクハウゼンノイズを除去することができる。スピナバルブ膜の反強磁性層に絶縁層を介して軟磁性膜を積層してもよい。センス電流磁界を利用した他の例を以下に示す。磁化フリー層／非磁性層／磁化ピン層／反強磁性層／磁化ピン層／非磁性層／磁化フリー層の積層膜からなるスピナバルブ膜を用いる。このスピナバルブ膜に通電されるセンス電流磁界によって、上下2つの磁化フリー層をそれぞれマイナスz方向とプラスz方向に磁化する。このような構成によると、単に1つの磁化フリー層を電流磁界で単磁区化するよりも、お互いの静磁界を利用することができるため、より安定な単磁区化が実現できる。

【0152】上述した実施形態のヨーク型MRヘッドにおいては、逆に多くの磁束がMR膜27に流入するため、MR膜27の大部分が小さな磁界で飽和する可能性がある。これにより抵抗変化がすぐに飽和するといった弊害が生じる場合がある。このような場合には、例えば図38に示すように、MR膜27の中央付近を上方に屈曲させ、MR膜27と磁気ヨーク23との間隙を広くする。これにより、抵抗変化の飽和を抑制することができる。

【0153】図39に示すように、MR膜27の配置位置となる部分の一対の磁性体層24間の間隙を広く設定することも効果的である。この際、実質的な磁気ギャップとなる媒体対向面側は狭ギャップを維持させる。このような構造のヨーク型MRヘッドにおいては、MR膜27の抵抗を大きくすることができる。さらに、狭ギャップ（例えば  $0.05 \sim 0.2\mu\text{m}$ ）を維持した上で、一対の磁性体層24間を  $0.5 \sim 1.0\mu\text{m}$  程度と広くすることによって、媒体磁界で飽和しない部分を増大させることができる。従って、抵抗変化の飽和を抑制することができ、さらには線形性のよいMRヘッドが実現できる。

【0154】上述した実施形態は、磁気ヨーク23およびMR膜27に硬質磁性層55、57によりバイアス磁界を印加する例である。さらに、前述した第1の実施形態で説明した電流磁界による磁気バイアスと硬質磁性層による磁気バイアスとを組合せて使用することもできる。図

40に示すように、MR膜27の後方部分には硬磁性層57を配置する。磁気ヨーク23となる一対の磁性体層24上には、 $Al_2O_3$ 等からなる絶縁層58を介して、Cu等からなる配線層59を形成する。なお配線層59の形成位置は、記録媒体との接触を考慮して、媒体対向面Sから若干後退した位置としてもよい。

【0155】磁性体層24上の配線層59に通電することによって、磁気ヨーク23に電流磁界による磁気バイアスを印加する。一方、MR膜27には硬磁性層57により磁気バイアスを印加する。このような構成によっても、優れた線形応答性が得られると共に、バルクハウゼンノイズを低減することができる。

【0156】なお、上述した各実施形態では、MR膜を磁気ヨーク上に配置した例について説明したが、本発明はこれに限られるものではない。磁気ヨークをMR膜上に設けた場合にも同様な効果が得られる。

【0157】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の第1の磁気抵抗効果ヘッドによれば、リード形成に伴うMR膜の特性低下や歩留り低下を抑制することができる。また、MR膜の感度や出力の向上が図れる。さらに、磁気ヨークやリード等の作製工程を簡素化して低コスト化することができる。従って、優れた特性および信頼性を有するヨーク型MRヘッドを低コストおよび高歩留りで提供することが可能となる。また、第2および第3の磁気抵抗効果ヘッドによれば、磁気ヨーク等に起因するバルクハウゼンノイズを抑制することができる。従って、優れた特性を有するヨーク型MRヘッドを低コストおよび高歩留りで提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1のヨーク型MRヘッドの一実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図2】 図1に示すヨーク型MRヘッドの変形例を示す斜視図である。

【図3】 本発明の第1のヨーク型MRヘッドの他の実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図4】 本発明の第2のヨーク型MRヘッドの第1の実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図5】 図4に示すヨーク型MRヘッドにおける磁気ヨークの磁区制御状態を説明するための図である。

【図6】 図4に示すヨーク型MRヘッドの変形例を示す斜視図である。

【図7】 図4に示すヨーク型MRヘッドにおける磁気ヨークの変形例を示す断面図である。

【図8】 図4に示すヨーク型MRヘッドにおける磁気ヨークの他の変形例を示す断面図である。

【図9】 図4に示すヨーク型MRヘッドの他の変形例を示す斜視図である。

【図10】 図6に示すヨーク型MRヘッドの変形例を示す斜視図である。

【図11】 図4に示すヨーク型MRヘッドのさらに他の変形例を示す斜視図である。

【図12】 本発明の第1および第2のヨーク型MRヘッドを適用した一実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図13】 本発明の第1および第2のヨーク型MRヘッドを適用した他の実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図14】 図13に示すヨーク型MRヘッドの変形例を示す斜視図である。

【図15】 本発明の第3のヨーク型MRヘッドの一実施形態における磁気ヨークを示す図である。

【図16】 図15に示す磁気ヨークの変形例を示す図である。

【図17】 図15に示す磁気ヨークの他の変形例を示す図である。

【図18】 図15に示す磁気ヨークを構成する磁性体層の変形例を示す断面図である。

【図19】 図15に示す磁気ヨークに強磁性層と非磁性層との積層膜を適用した一構造例を示す断面図である。

【図20】 図15に示す磁気ヨークに強磁性層と非磁性層との積層膜を適用した他の構造例を示す断面図である。

【図21】 図20に示す磁気ヨークの変形例を示す断面図である。

【図22】 図15に示す磁気ヨークに強磁性層と非磁性層との積層膜を適用したさらに他の構造例を示す断面図である。

【図23】 図15に示す磁気ヨークに反強磁性層と強磁性層と非磁性層との積層膜を適用した一構造例を示す断面図である。

【図24】 図23に示す磁気ヨークの変形例を示す断面図である。

【図25】 図23に示す磁気ヨークの他の変形例を示す断面図である。

【図26】 図15に示す磁気ヨークに反強磁性層と強磁性層と非磁性層との積層膜を適用した他の構造例を示す断面図である。

【図27】 図26に示す磁気ヨークの変形例を示す断面図である。

【図28】 本発明の第3のヨーク型MRヘッドの他の実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図29】 図28に示すヨーク型MRヘッドの熱処理時における電流の印加状態を説明するための図である。

【図30】 図28に示すヨーク型MRヘッドの変形例を示す斜視図である。

【図31】 図30に示すヨーク型MRヘッドの熱処理時における電流の印加状態の一例を説明するための図である。

41

【図32】 図30に示すヨーク型MRヘッドの熱処理時における電流の印加状態の他の例を説明するための図である。

【図33】 本発明の第3のヨーク型MRヘッドの具体的な製造状態の一例を示す図である。

【図34】 本発明の第3のヨーク型MRヘッドの具体的な製造状態の他の例を示す図である。

【図35】 本発明の第3のヨーク型MRヘッドの具体的な製造状態のさらに他の例を示す図である。

【図36】 本発明の第2のヨーク型MRヘッドの第2の実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図37】 図36に示すヨーク型MRヘッドの断面図である。

【図38】 図36に示すヨーク型MRヘッドの変形例を示す斜視図である。

【図39】 図36に示すヨーク型MRヘッドの他の変形例を示す斜視図である。

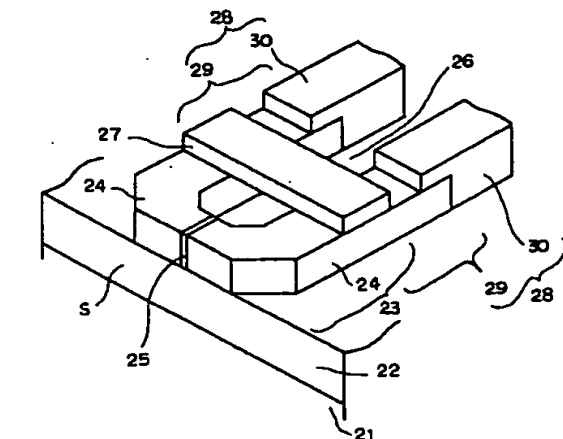
【図40】 本発明の第2のヨーク型MRヘッドの他の実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図41】 本発明の実施例における磁気ヨークの磁化方向の観察点を示す図である。

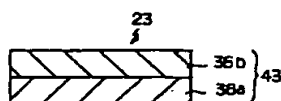
【図42】 試料1における比較例試料の磁気ヨークに対応する磁区評価用試料の磁化方向の観察結果を模式的に示す図である。

【図43】 試料1における実施例試料の磁気ヨークに

【図1】



【図18】



42

対応する磁区評価用試料の磁化方向の観察結果を模式的に示す図である。

【図44】 従来のシールド型MRヘッドの概略構成を示す斜視図である。

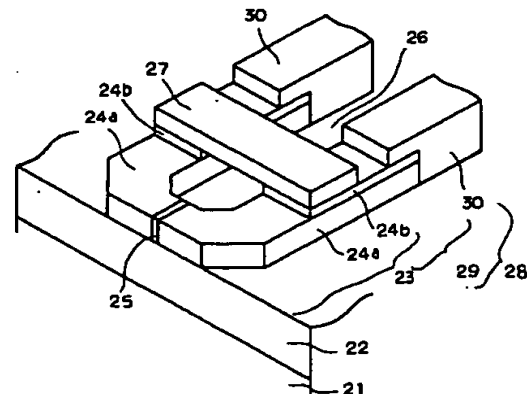
【図45】 従来のヨーク型MRのヘッド概略構成を示す斜視図である。

【図46】 従来の他のヨーク型MRヘッドの概略構成を示す斜視図である。

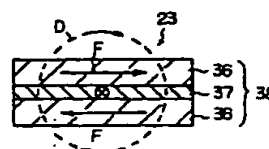
【符号の説明】

- 21……基板
- 23……磁気ヨーク
- 24……磁性体層
- 25……非磁性絶縁材料からなる磁気ギャップ
- 27……MR膜
- 28……一対のリード
- 29……磁性体リード部
- 30……低抵抗リード部
- 34……非磁性低抵抗材料からなる磁気ギャップ
- 36……強磁性層
- 37、45……非磁性層
- 38、39、43、44、46、48、49、50……積層膜
- 47……反強磁性層
- 53……絶縁体層
- 54……電流磁界発生用の非磁性金属層

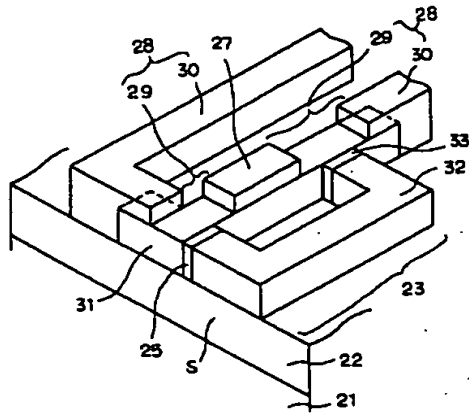
【図2】



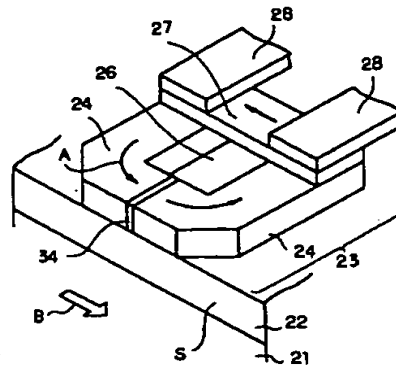
【図19】



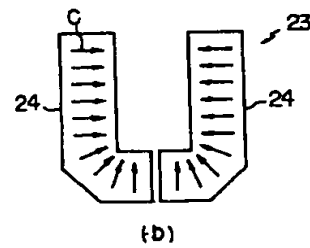
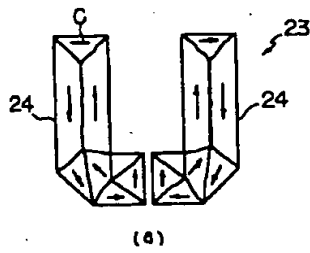
【図3】



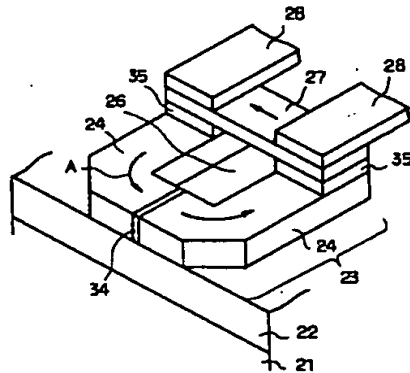
【図4】



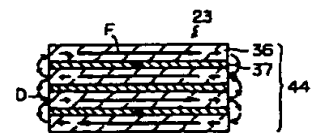
【図5】



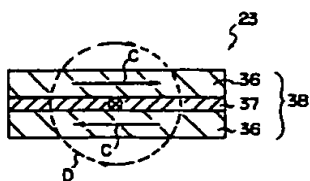
【図6】



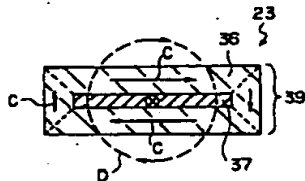
【図20】



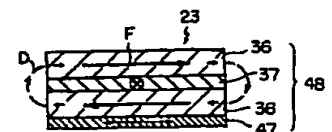
【図7】



【図8】

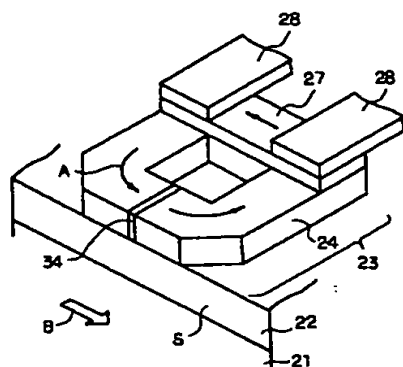


【図23】

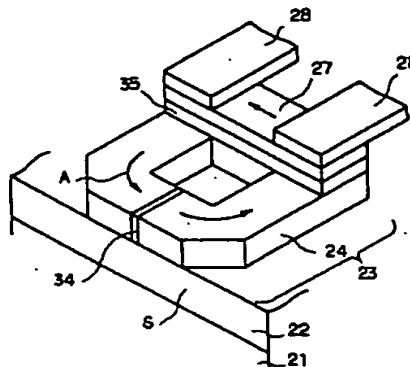




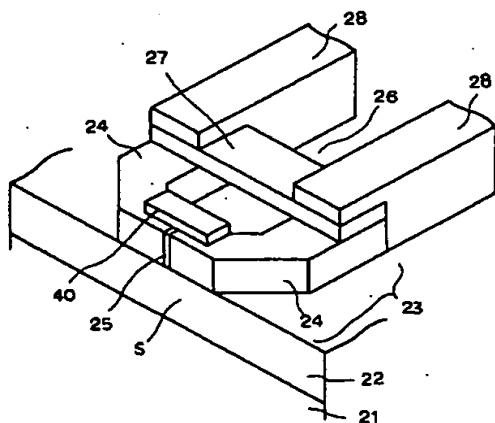
【図9】



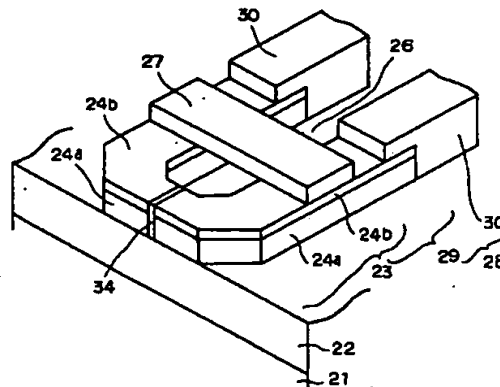
【図10】



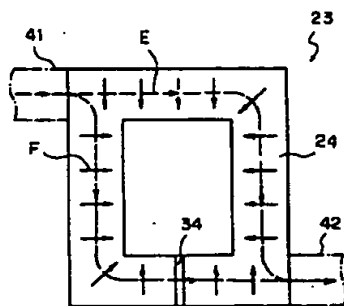
【図11】



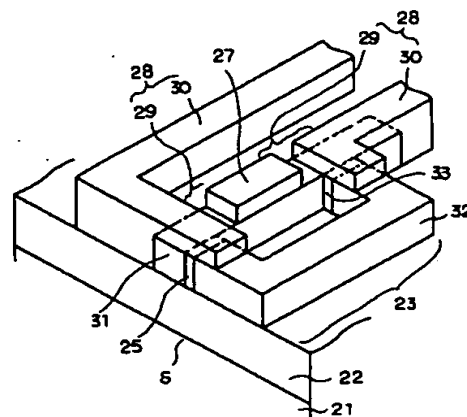
【図12】



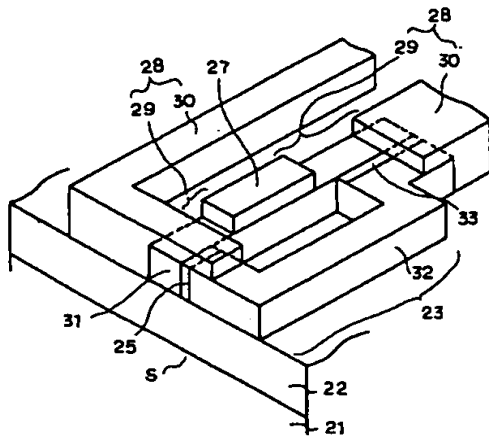
【図16】



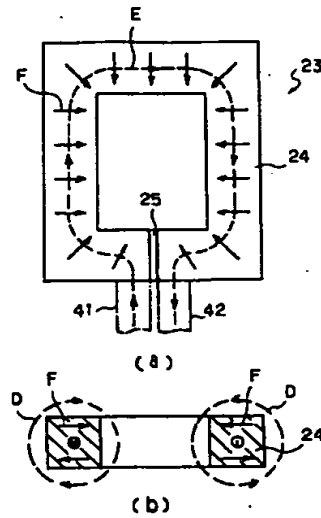
【図13】



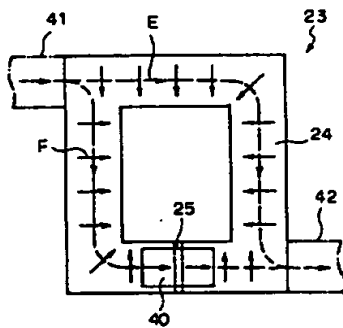
【図14】



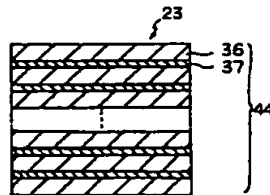
【図15】



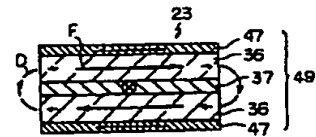
【図17】



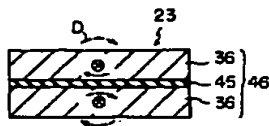
【図21】



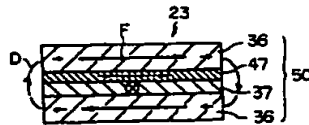
【図24】



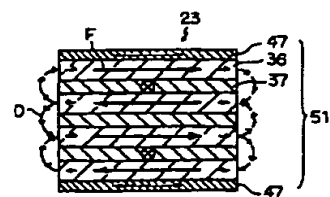
【図22】



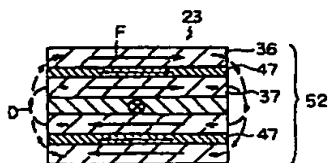
【図25】



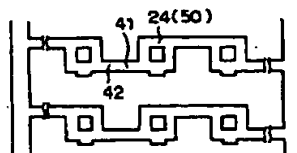
【図26】



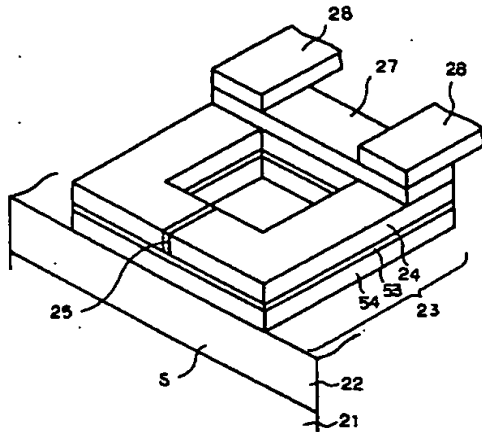
【図27】



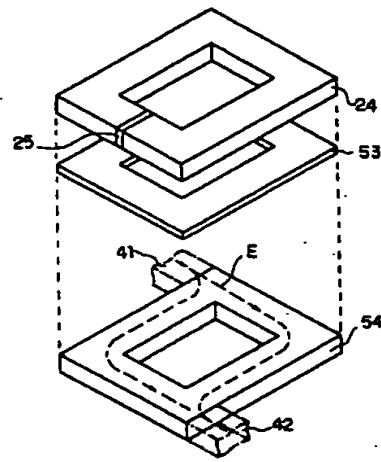
【図34】



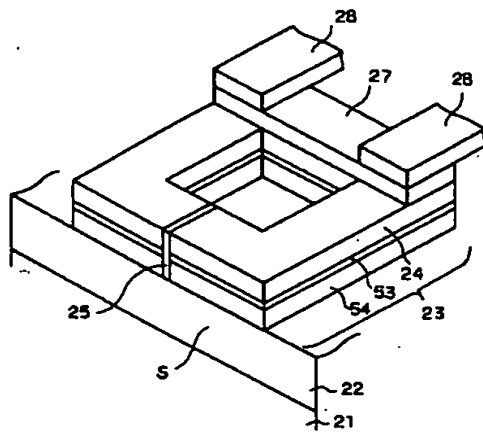
【図28】



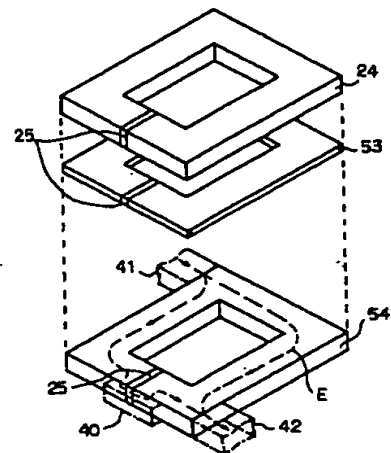
【図29】



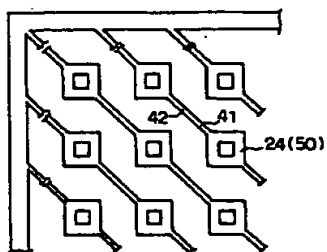
【図30】



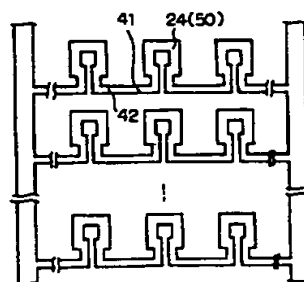
【図31】



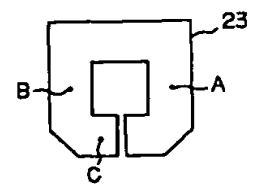
【図33】



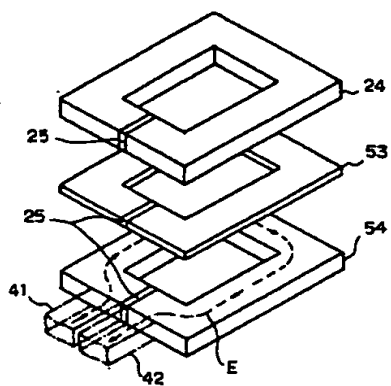
【図35】



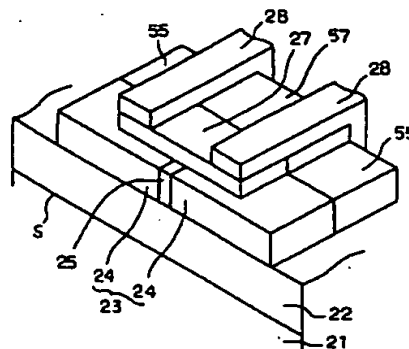
【図41】



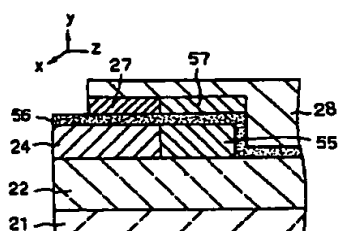
【図32】



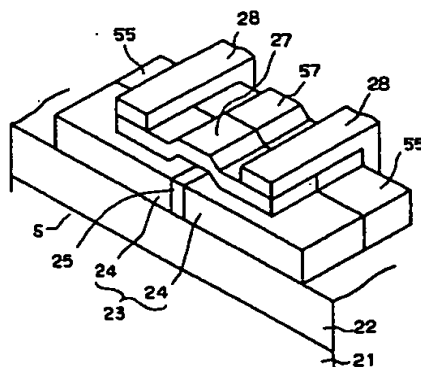
【図36】



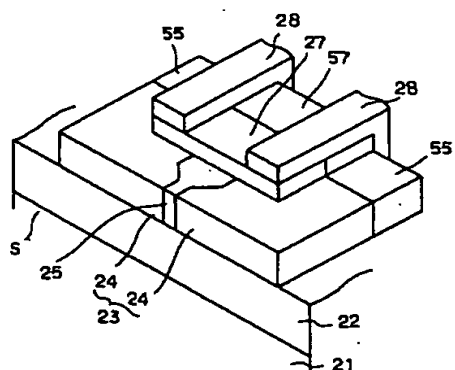
【図37】



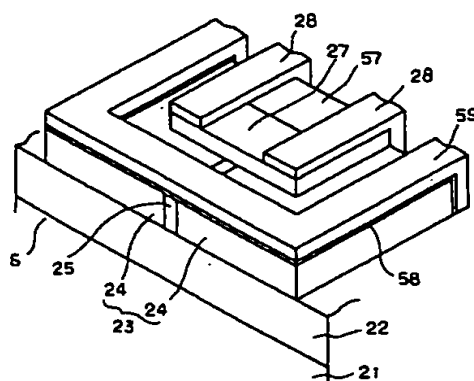
【図38】



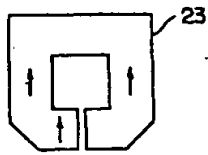
【図39】



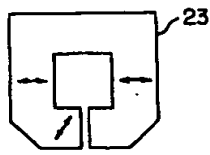
【図40】



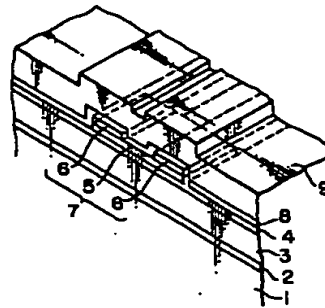
【図4 2】



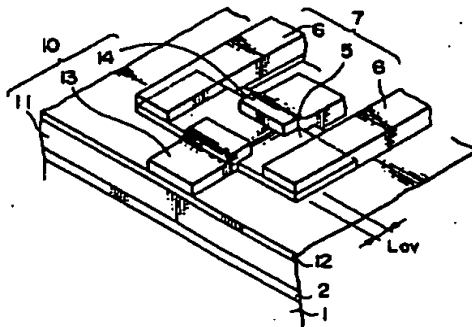
【図4 3】



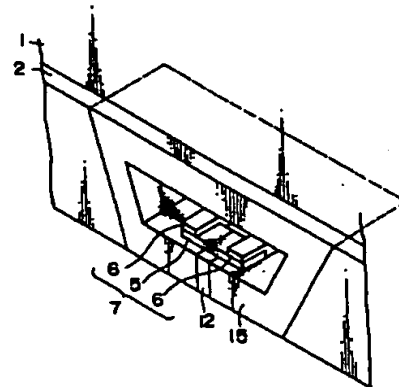
【図4 4】



【図4 5】



【図4 6】



## フロントページの続き

(72)発明者 與田 博明  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内  
(72)発明者 岩崎 仁志  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内  
(72)発明者 佐橋 政司  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内

(72)発明者 小林 忠彦  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内  
(72)発明者 大沢 裕一  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内  
(72)発明者 上口 裕三  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内